

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



Presentado por:

**Br. YÉSICA QUISPE FUENTES**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS  
Y TECNOLÓGICAS DE ALMIDONES DE QUINUA  
(*Chenopodium quinoa Willd*) MODIFICADOS  
ENZIMÁTICAMENTE**

Asesor:

**Dra. BETSY SURI RAMOS PACHECO**

Co-Asesor:

**Dra. YUDITH CHOQUE QUISPE**

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

**ANDAHUAYLAS – APURÍMAC - PERÚ**

**2023**



## APROBACIÓN DEL ASESOR

Quién suscribe:  
Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco  
por la presente:

### CERTIFICA,

Que, la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial Yésica Quispe Fuentes ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TECNOFUNCIONALES DE ALMIDONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd*) MODIFICADOS ENZIMATICAMENTE" para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Andahuaylas 01 de agosto del 2023

---

Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco  
**Asesor**

---

Br. Yésica Quispe Fuentes  
**Tesista**



## APROBACIÓN DEL CO-ASESOR

Quién suscribe:  
Mag. Yudith Choque Quispe  
por la presente:

### CERTIFICA,

Que, la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial Yésica Quispe Fuentes ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TECNOFUNCIONALES DE ALMIDONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd*) MODIFICADOS ENZIMATICAMENTE" para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Andahuaylas 01 de agosto del 2023

---

Mag. Yudith Choque Quispe  
**Asesor**

---

Br. Yésica Quispe Fuentes  
**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 09:00 horas del día viernes 04 de agosto del año 2023, se reunieron los docentes: Mag. Carlos A. Ligarda Samanez, Mag. Fredy Taipe Pardo, Mag. Henry Palomino Rincón, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TECNOFUNCIONALES DE ALMIDONES DE QUINUA (CHENOPODIUM QUINOA WILLD) MODIFICADOS ENZIMÁTICAMENTE, cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **YÉSICA QUISPE FUENTES**, la asesora Mag. Betsy Suri Ramos Pacheco y la coasesora Mag. Yudith Choque Quispe, 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 **YÉSICA QUISPE FUENTES**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
19	Diecinueve	Excedente

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

Mag. Carlos A. Ligarda Samanez  
Presidente del Jurado Evaluador

Mag. Fredy Taipe Pardo  
Primer Miembro del Jurado Evaluador

Mag. Henry Palomino Rincón  
Segundo Miembro del Jurado Evaluador



## ANEXO 31

### APROBACION DEL JURADO DICTAMINADOR

La tesis: "Evaluación de las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones de quinua (*chenopodium quinoa willd*) modificados enzimáticamente" para optar el TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO Agroindustrial, ha sido evaluado por el Jurado Dictaminador conformado por:

PRESIDENTE: Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez

PRIMER MIEMBRO: Mag. Fredy Taipe Pardo

SEGUNDO MIEMBRO: Mag. Henry Palomino Rincón

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 04 del mes de agosto de 2023.

Andahuaylas, 10 de agosto de 2023

Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez  
**PRESIDENTE DEL JURADO DICTAMINADOR**

Mag. Fredy Taipe Pardo  
**PRIMER MIEMBRO DEL JURADO DICTAMINADOR**

Mag. Henry Palomino Rincón  
**SEGUNDO MIEMBRO DEL JURADO DICTAMINADOR**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

El que suscribe asesor de trabajo de investigación/tesis, titulado **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TECNOFUNCIONALES DE ALMIDONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd*) MODIFICADOS ENZIMÁTICAMENTE”** presentado por la **Br. Yésica Quispe Fuentes**, con DNI N° **75836251**, para optar el título profesional de **Ingeniero Agroindustrial**.

Informo que el documento ha sido sometido a revisión de originalidad, utilizando el software de control de similitud y detección de plagio Turnitin, conforme al reglamento vigente, verificándose un porcentaje de **6 % de similitud general**.

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunta el reporte de software firmado.

Andahuaylas, 22 de agosto del 2023



---

Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco  
Asesor de tesis  
DNI N°: 44230647  
ORCID: 0000-0002-0286-0632

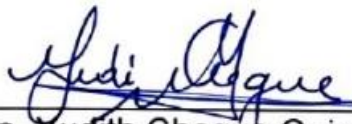
## INFORME DE ORIGINALIDAD

El que suscribe co-asesor de trabajo de investigación/tesis, titulado “**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TECNOFUNCIONALES DE ALMIDONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd*) MODIFICADOS ENZIMÁTICAMENTE**” presentado por la **Br. Yésica Quispe Fuentes**, con DNI N° **75836251**, para optar el título profesional de **Ingeniero Agroindustrial**.

Informo que el documento ha sido sometido a revisión de originalidad, utilizando el software de control de similitud y detección de plagio Turnitin, conforme al reglamento vigente, verificándose un porcentaje de **6% de similitud general**.

Por tanto, en mi condición de co-asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunta el reporte de software firmado.

Andahuaylas, 22 de agosto del 2023



---

Dra. Yudith Choque Quispe  
Co-asesor de tesis  
DNI N°: 42933337  
ORCID: 0000-0002-3690-7267



Universidad Nacional José María Arguedas

Identidad y Excelencia para el Trabajo Productivo y el Desarrollo

Unidad de Investigación de la Facultad Ingeniería  
C009-2023

Andahuaylas, 05 de setiembre de 2023

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

## Constancia

De porcentaje de similitud (06%) según el software Turnitin, al informe final de investigación: Evaluación de las Propiedades Físicas, Químicas y Tecnofuncionales de almidones de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild). Presentado por la Bach. Yesica Quispe Fuentes cuyo Asesor es la Dra Betsy Suri Ramos Pacheco y Co-asesor-Dra. Yudith Choque Quispe.

Dra. María del Carmen Delgado Laime  
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

C.c  
Archivo.



NOMBRE DEL TRABAJO

**Evaluacion de las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales del almidón de quinua.pdf**

AUTOR

**Yésica Quispe Fuentes**

RECuento DE PALABRAS

**30368 Words**

RECuento DE CARACTERES

**158926 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**123 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 22, 2023 12:59 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Aug 22, 2023 1:01 PM GMT-5**

● **6% de similitud general**

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

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

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

*Yésica Quispe Fuentes*  
42933337  
Yésica Quispe Fuentes



*Yésica Quispe Fuentes*  
75836251

● **6% de similitud general**

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 6% Base de datos de Internet
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- 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	<b>repositorio.unajma.edu.pe</b> Internet	1%
2	<b>hdl.handle.net</b> Internet	1%
3	<b>repositorio.unal.edu.co</b> Internet	<1%
4	<b>repositorio.unsch.edu.pe</b> Internet	<1%
5	<b>repositorio.lamolina.edu.pe</b> Internet	<1%
6	<b>repositorio.unjbg.edu.pe</b> Internet	<1%
7	<b>scl.ece.ucsb.edu</b> Internet	<1%
8	<b>cityofconcord.org</b> Internet	<1%
9	<b>malvernpanalytical.com</b> Internet	<1%

*Yamp G*  
75836251



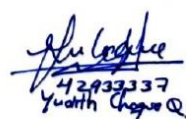
*Judith Chague Q.*  
42933337

Descripción general de fuentes

Reporte de similitud

10	<b>eprints.ucm.es</b> Internet	<1%
11	<b>repositorio.unheval.edu.pe</b> Internet	<1%
12	<b>dspace.uce.edu.ec</b> Internet	<1%
13	<b>secgen.unajma.edu.pe</b> Internet	<1%
14	<b>bdigital.unal.edu.co</b> Internet	<1%
15	<b>es.scribd.com</b> Internet	<1%
16	<b>K. Mathias-Rettig, K. Ah-Hen. "El color en los alimentos un criterio de c...</b> Crossref	<1%
17	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Internet	<1%
18	<b>ricaxcan.uaz.edu.mx</b> Internet	<1%
19	<b>scielo.org.pe</b> Internet	<1%

   
Ing. Betty Ramos Pacheco  
C.P. N° 142943

  
42933337  
Yuath Chaves Q.

  
75836251

Descripción general de fuentes

## **DEDICATORIA**

*Dedico el presente trabajo de investigación, a Dios por darme vida y una hermosa familia, a mi querida madre **Juana Fuentes Velásquez**, por darme su amor incondicional y apoyo a lo largo de toda mi vida, por ser mi ejemplo a seguir y a quien le debo todo lo que soy hoy en día, a mis hermanos **Elizabeth, Milagros y Luis** que me apoyaron incondicionalmente.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre por ser el motor que me impulsa a seguir adelante, quien me educó con mucho esfuerzo, a mis hermanos Elizabeth, Milagros y Luis quienes me alentaron a seguir adelante, a mis sobrinos Amirth, Ivana y Camila, por impulsarme a ser una persona de bien, a mi padrino Paul Yuto por su apoyo y comprensión, a la señora Ninfa por su inmensa amabilidad y gratitud.

A mis asesoras Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco y Dra. Yudith Choque Quispe, por sus valiosos aportes, paciencia, apoyo, comprensión que fueron indispensables para desarrollar de la mejor manera el proyecto de investigación, así mismo por el apoyo en el manejo de equipos y análisis de las pruebas realizadas.

A la Universidad Nacional José María Arguedas, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA), por ser mi alma mater, también agradezco a cada uno de los docentes por compartirme sus experiencias y amplios conocimientos que aportaron a mi formación profesional, a todos los trabajadores por el apoyo en los trámites administrativos que realice.

Al Dr. David Choque Quispe, Mag. Diego Elio Peralta Guevara, Mag. Elibet Moscoso Moscoso, por su apoyo incondicional en los laboratorios de investigación de nanotecnología de alimentos (LINA) y Laboratorio de investigación en materiales para el tratamiento de agua y alimentos (LIMTAA), por sus aportes y buenos consejos para el desarrollo del trabajo de investigación.

A los Jurados evaluadores, Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez, Mag. Fredy Taipe Pardo y Dr. Henry Palomino Rincón, por sus conocimientos aportados para el buen desarrollo y culminación del trabajo de investigación.

A mis compañeros Jhoel, Rafael, Daniel, Fiorella, Ceyli por los momentos alegres que pasamos a lo largo de nuestro desarrollo profesional.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	XII
AGRADECIMIENTOS .....	XIII
ÍNDICE GENERAL.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIX
ABREVIATURAS, SÍMBOLOS Y UNIDADES.....	XX
RESUMEN .....	XXII
ABSTRAC .....	XXIII
CHUMASQA .....	XXIV
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.1. Situación problemática. ....	2
1.2. Formulación del problema .....	3
1.2.1. Problema general .....	3
1.2.2. Problemas específicos .....	3
1.3. Justificación de la investigación.....	4
1.4. Objetivos de la investigación .....	5
1.4.1. Objetivo general .....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Formulación de la hipótesis.....	5
1.5.1. Hipótesis general.....	5
1.5.2. Hipótesis específica.....	5
CAPÍTULO II: ANTECEDENTES .....	6

2.1. Antecedentes internacionales .....	6
2.2. Antecedentes nacionales .....	10
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO .....	12
3.1. Bases teóricas.....	12
3.1.1. Quinua .....	12
3.1.2. Grano de quinua.....	12
3.1.3. Composición química de la quinua.....	13
3.1.4. Almidón .....	14
3.1.5. Almidón de quinua.....	15
3.1.6. Almidones modificados.....	16
3.1.7. Tipos de modificación .....	16
3.1.8. Propiedades físicas .....	18
A. Color.....	18
B. Actividad de agua.....	19
C. Tamaño de partícula por difracción láser .....	20
D. Potencial $\zeta$ .....	20
3.1.9. Propiedades químicas .....	21
A. Amilosa y amilopectina.....	21
B. Espectrofotometría por transformada de Fourier (FTIR) .....	23
3.1.10. Propiedades tecnofuncionales.....	23
A. Temperatura de gelatinización .....	24
B. Índice de absorción de agua y solubilidad en agua.....	24
C. Poder de hinchamiento .....	25

3.2. Marco conceptual .....	25
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	27
4.1. Lugar de ejecución .....	27
4.2. Identificación de las variables.....	27
4.2.1. Variables independientes y dependientes .....	27
4.3. Materiales, instrumentos, equipos y reactivos.....	27
4.3.1. Materiales.....	27
4.3.2. Equipos e instrumentos.....	28
4.3.3. Reactivos .....	29
4.4. Población y muestra .....	29
4.4.2. Población .....	29
4.4.1. Muestra .....	30
4.4.2. Unidad de análisis .....	30
4.5. Tipo de investigación.....	30
4.6. Metodología experimental .....	30
4.7. Métodos de análisis.....	36
4.7.1. Propiedades físicas .....	36
4.7.2. Propiedades químicas .....	37
4.7.3. Propiedades tecnofuncionales.....	38
4.8. Diseño experimental (variable y pruebas estadísticas). .....	39
CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	41
5.1. Resultados de las propiedades físicas .....	41
5.1.1. Color.....	41
5.1.2. Actividad de agua.....	43



5.1.3. Tamaño de partícula .....	44
5.1.4. Potencial $\zeta$ .....	45
5.2. Resultados de las propiedades químicas.....	46
5.2.1. Amilosa y amilopectina.....	46
5.2.2. Grupos funcionales .....	47
5.3. Resultados de las propiedades tecnofuncionales .....	49
5.3.1. Temperatura de gelatinización .....	49
5.3.2. Poder de hinchamiento (PH), Solubilidad (S) y Capacidad de absorción de agua (CAA).....	50
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES .....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
ANEXOS .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Características de los almidones más usados en la industria</i> .....	15
Tabla 2	<i>Aplicaciones del almidón de quinua en la industria alimentaria</i> .....	16
Tabla 3	<i>Valores del Potencial <math>\zeta</math> y características de la suspensión</i> .....	21
Tabla 4	<i>Propiedades fisicoquímicas de la amilosa y amilopectina</i> .....	23
Tabla 5	<i>Materiales</i> .....	27
Tabla 6	<i>Equipos e instrumentos</i> .....	28
Tabla 7	<i>Reactivos</i> .....	29
Tabla 8	<i>Tratamientos para DBCA</i> .....	39
Tabla 9	<i>Color <math>L^* a^* b^*</math></i> .....	41
Tabla 10	<i>Índice de blancura (%)</i> .....	42
Tabla 11	<i>Actividad de agua</i> .....	43
Tabla 12	<i>Tamaño de partícula (<math>\mu\text{m}</math>)</i> .....	44
Tabla 13	<i>Potencial <math>\zeta</math> (mV)</i> .....	45
Tabla 14	<i>Amilosa y Amilopectina (%)</i> .....	46
Tabla 15	<i>Temperatura de gelatinización (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</i> .....	50
Tabla 16	<i>Poder de hinchamiento (g agua/g almidón), solubilidad (%) y capacidad de absorción de agua (g agua/g almidón)</i> .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Estructura longitudinal del grano de quinua</i> .....	13
Figura 2	<i>Comportamiento de la actividad de agua</i> .....	20
Figura 3	<i>Estructura química de la amilosa y amilopectina</i> .....	22
Figura 4	<i>Diagrama de flujo extracción de almidón de quinua</i> .....	32
Figura 5	<i>Diagrama de flujo activación de la enzima <math>\alpha</math>-amilasa</i> . ....	33
Figura 6	<i>Diagrama de flujo para la modificación enzimática al 2 % de enzima</i> .....	35
Figura 7	<i>Espectros IR de almidón de quinua Choclito (a)</i> .....	48
Figura 8	<i>Espectros IR de almidón de quinua pasankalla roja (b)</i> .....	48

## ABREVIATURAS, SÍMBOLOS Y UNIDADES

$A_w$	: actividad de agua
AQPR	: almidón de quinua pasankalla roja
AQCH	: almidón de quinua choclito
$a^*$	: coordenadas del croma $a^*$
$b^*$	: coordenadas del croma $b^*$
CV	: coeficiente de variabilidad
°C	: grados Celsius
FTIR	: Espectrofotometría por transformada de Fourier
Ec.	: ecuación
$H_0$	: hipótesis nula
$H_A$	: hipótesis alterna
IAA	: índice de absorción de agua
ISA	: índice de solubilidad en agua
L	: litro
$L^*$	: luminosidad
mL	: mililitros
mg	: miligramo
Nm	: nanómetros
PH	: poder de hinchamiento
p/v	: relación peso/ volumen
s	: desviación estándar muestral
U/L	: unidad enzimática por cada litro
$\mu\text{m}$	: micrómetro

$\mu\text{l}$  : microlitro

rpm : revoluciones por minuto

$\bar{x}$  : promedio muestral

< : mayor que

> : menor que

% : porcentaje

$\alpha$  : alfa

## RESUMEN

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) es un cereal que está compuesto principalmente por almidón, constituye de un 30 a 80 % de carbohidratos, además de contener una importante fuente de vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales. El objetivo principal de la presente investigación fue evaluar las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados a diferentes concentraciones de enzimas. La materia prima fue recolectada en el Centro Poblado de Poltoocsa del distrito de San Jerónimo, provincia de Andahuaylas, Apurímac. Se determinaron las propiedades físicas como el color, actividad de agua ( $A_w$ ), tamaño de partícula, potencial  $\zeta$ , las propiedades químicas como contenido de amilosa, amilopectina y grupos funcionales las propiedades tecnofuncionales como temperatura de gelatinización, capacidad de absorción de agua (CAA), poder de hinchamiento (PH) y solubilidad (S). La metodología empleada para color fue mediante la colorimetría, la actividad de agua se midió mediante un determinador de actividad de agua de marca Rotronic, el tamaño de partícula se midió en el Mastersizer 3000 y el potencial zeta mediante Zetasizer ZSU3100, el porcentaje de amilosa se cuantificó mediante un espectrofotómetro UV-vis , se identificó los grupos funcionales mediante la espectrofotometría por transformada de Fourier, las propiedades tecnofuncionales fueron determinadas por termogravimetría.

Los almidones modificados enzimáticamente presentaron valores de luminosidad que oscilaron de 92.56 a 93.57, el índice de blancura estuvo entre 92.37 a 93.37%, mientras que la actividad de agua mostró valores menores a 0.507, por otra parte el tamaño de partícula incrementó el tamaño de partícula al modificar, el potencial  $\zeta$  presentó una buena estabilidad, por otra parte la amilosa osciló de 20 a 30% y la amilopectina osciló de 70 a 80%, en cuanto a los espectros IR mostraron la presencia de grupo hidroxilo y grupo amino. Las propiedades tecnofuncionales como la temperatura de gelatinización incrementó con la modificación, por otro lado, el poder de hinchamiento y la capacidad de absorción de agua mostraron una disminución al modificar, mientras que la solubilidad mostró un aumento al modificar enzimáticamente. En conclusión, estos almidones pueden ser usados como estabilizantes, encapsulantes, elaboración de alimentos, industria farmacéutica, preparación de emulsionantes, industria cosmética para la elaboración de cremas, polvos, shampoo, entre otros.

**Palabras clave:** Quinua, almidón, grupos funcionales, enzima, propiedades tecnofuncionales, Potencial  $\zeta$ .

## ABSTRAC

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) is a cereal that is composed mainly of starch, constitutes 30 to 80% of carbohydrates, in addition to containing an important source of vitamins, minerals and essential amino acids. The main objective of this research was to evaluate the physical, chemical and technofunctional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) starches modified at different enzyme concentrations. The raw material was collected in the Poltoccca Population Center in the district of San Jerónimo, province of Andahuaylas, Apurímac. Physical properties such as color, water activity ( $A_w$ ), particle size,  $\zeta$  potential, chemical properties such as amylose content, amylopectin and functional groups, technofunctional properties such as gelatinization temperature, water absorption capacity (CAA) were determined), swelling power (PH) and solubility (S). The methodology used for color was through colorimetry, the water activity was measured by means of a Rotronic brand water activity determiner, the particle size was measured in the Mastersizer 3000 and the zeta potential through Zetasizer ZSU3100, the percentage of amylose was quantified by means of a UV-vis spectrophotometer, the functional groups were identified by means of Fourier transform spectrophotometry, the technofunctional properties were determined by thermogravimetry.

The enzymatically modified starches presented brightness values that ranged from 92.56 to 93.57, the whiteness index was between 92.37 and 93.37%, while the water activity showed values less than 0.507, on the other hand the particle size increased the particle size. when modifying, the  $\zeta$  potential presented a good stability, on the other hand the amylose ranged from 20 to 30% and the amylopectin ranged from 70 to 80%, as far as the IR spectra showed the presence of hydroxyl group and amino group. The technofunctional properties such as the gelatinization temperature increased with the modification, on the other hand, the swelling power and the water absorption capacity showed a decrease when modifying, while the solubility showed an increase when modifying enzymatically. In conclusion, these starches can be used as stabilizers, encapsulants, food processing, pharmaceutical industry, preparation of emulsifiers, cosmetic industry for the production of creams, powders, shampoo, among others.

**Keywords:** Quinoa, starch, functional groups, enzyme, technofunctional properties,  $\zeta$  Potential.

## CHUMASQA

Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) nisqan kasqa cereal, achka almidón tarimunku kay quinoa nisqampi, kayqa kasqa 30 hinaspa 80% de materia chaki nisqan, chaymantapas tarikurqa vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales nisqan. Kay maskapay hatun munayninqa karqan chaninchay chay propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales kay almidones de quinoa modificados nisqanmanta, hukniraq concentraciones de enzimas nisqampi. Chay quinoa nisqan huñumuni kay Centro Poblado Poltoocsa nisqampi, San Jerónimo, Andahuaylas, Apurímac llaqtapi. Kay almidón de quinoa nisqanmanta tarikuna karqa propiedades físicas nisqa, llimpi, yakupa ruwaynin ( $A_w$ ), partícula nisqapa sayaynin, potencial  $\zeta$  nisqan, propiedades químicas nisqakuna amilosa hinataq amilopectina nisqapa chaninchakuy, hinaspa grupos funcionales nisqakuna tarinapaq, propiedades tecnofuncionales nisqakuna chaninchaykunapaq, temperatura de gelatinización nisqan, yaku atiy absorción nisqan, chaymantapas punkiy atiy (PH) y solubilidad nisqan (S). Kay ruwaykunata qispichini metodología nisqanwan, llimpipaq ñuqa rikuchirani colorimetría nisqawan, yakupa ruwayninqa ( $A_w$ ) qispichini determinador Rotronic nisqapi, almidón nisqanmanta sayayninqa tariniku Mastersizer 3000 nisqapi chaynallataq potencial zeta nisqapas Zetasizer ZSU3100 nisqawan, pachakmanta huknin amilosa nisqapas espectrofotometría UV-vis nisqawanmi tupusqa karqa, grupos funcionales nisqakunam qawakurqa espectrofotometría de transformación de Fourier nisqawan, chaymantam propiedades tecnofuncionales nisqakuna termogravimetría nisqawan riqsichisqa karqa.

Chay almidones enzimáticamente modificados nisqakunam qawarichirqaku valores de luminosidad nisqakunata 92.56 manta 93.57 kama, chay índice de yuraq kayninqa 92.37 manta 93.37% kamam karqa, chaynallataqmi yakupa ruwayninqa qawarichirqa valores nisqakunata aswan pisi 0,507 nisqamanta, huk ladumantataqmi chay particulapa sayayninqa yaparqa chay particulapa sayayninta. modificaspaqa, potencial  $\zeta$  nisqa allin estabilidad nisqatam qawarichirqa, huk ladumantam amilosa 20 manta 30% kama chaymanta amilopectina 70 manta 80% kama, maykamam espectros IR nisqakuna qawachirqa hidroxilo grupo hinaspa amino grupo nisqapa kayninta. Chay propiedades tecnofuncionales nisqakunam yapakurqa chay temperatura de gelatinización nisqa chay modificación nisqawan, huk ladumantaqa, chay punkiy atiy chaymanta yaku absorción nisqa atiy mi qawarichirqa pisiyayninta modificación nisqampi, chaymanta solubilidad nisqa yapakunmi modificación enzimáticamente nisqaykunmi. Tukunaypaq, kay almidón modificado nisqakunaqa estabilizador hina, encapsulante hina, mikuy ruwaypi, industria farmacéutica nisqapi pastillakuna, jarabekuna ruwanapaq, pisi punkiy atiy, pisi yakuta chunqay atiy ninkurayku ima, emulsionantekuna ruwaypi, chaypaq hatun estabilidad, industria cosmética nisqapi crema nisqanmanta, polvo nisqakunapi, shampoo nisqan, hukkunapas ruwachinapaq.

**Sapaq simikuna:** Quinoa nisqa, almidón nisqa, grupos funcionales nisqa, enzima nisqa, propiedades tecnofuncionales nisqa,  $\zeta$  Potencial nisqa.



## INTRODUCCIÓN

Hasta la actualidad la quinua ha sido estudiado principalmente por su alto contenido proteico, aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, dejando de lado la presencia del almidón de este producto, es así que en la presente investigación se evidenciaran diversos contenidos sobre la evaluación de las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados enzimáticamente.

El capítulo I está constituido por el problema de la investigación, que aborda la situación problemática, formulación del problema, justificación, objetivo e hipótesis de la investigación, la finalidad de este capítulo es identificar y analizar el motivo por el cual se realizó el trabajo de investigación para finalmente dar un diagnóstico y alternativas de solución frente al problema; capítulo II está constituido por los antecedentes que tratan sobre las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de diferentes almidones de cereales, cuyos reportes fueron imprescindibles para poder discutir las propiedades en estudio, capítulo III está compuesto por las bases teóricas y marco conceptual que servirá para el mejor entendimiento de los lectores; capítulo IV está compuesto por el lugar de ejecución, identificación de las variables, materiales, equipos e instrumentos y reactivos, unidad de análisis, tipo de investigación, metodología experimental y el diseño experimental, donde se habla del lugar donde se realizó la investigación, se identifica también las variables que son las concentraciones de enzima y las propiedades en estudio, en la metodología experimental se explica el proceso de la obtención del almidón y la modificación enzimática mediante diagramas de flujo, el método de análisis explica cómo se realizarán las pruebas correspondientes según los objetivos planteados y referenciados mediante autores; capítulo V está constituida por los resultados y discusiones, donde se reportaron los resultados para las propiedades en estudio con sus respectivas corroboraciones mediante autores; las conclusiones que se dieron en respuesta a los objetivos planteados, recomendaciones para seguir estudiando al almidón de quinua y las mejoras que se pueden realizar en investigaciones futuras, la bibliografía hace mención a los autores de donde se recopilaron conceptos para poder realizar este trabajo de investigación, finalmente los anexos donde se encuentra la curva de calibración para determinación de amilosa las pruebas estadísticas y las imágenes de la extracción, modificación y análisis realizados en el presente trabajo de investigación.

## CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1. Situación problemática.

El Perú es considerado uno de los principales productores de quinua a nivel mundial, con 89775 toneladas métricas producidas en el 2019, las regiones con mayor producción son Puno con 44%, Ayacucho con 17.6 % y Apurímac con 12.6%, durante los últimos años se ha visto el incremento de la producción de quinua a diferencia de otros productos según el Ministerio de Agricultura y Riego (2021).

La quinua se ha convertido en un relevante objeto de estudio por investigadores a nivel mundial, por su excelente fuente de almidón, alto contenido proteico, aminoácidos esenciales, vitaminas, minerales, ácidos grasos saludables, compuestos bioactivos como los flavonoides además de ello este alimento no contiene gluten (Xing et al., 2021; Jiang et al., 2020). Sin embargo, hay limitados estudios sobre esta excelente fuente de almidón en comparación con los almidones de maíz, papa y trigo en su forma nativa y modificada (Li y Zhu, 2018).

El almidón es un polisacárido que está compuesto por dos macromoléculas que son amilosa y amilopectina, es un alimento fundamental en la dieta humana extraída de diferentes fuentes vegetales, utilizado en procesos industriales alimentarios y no alimentarios para productos farmacéuticos, cosmetológicos, textiles, en papelería y producción de alcoholes, esto ha desarrollado el interés de generar nuevas fuentes de almidón con propiedades altamente competitivas en el mercado (Almeida et al., 2019).

Es así que el almidón de quinua presenta propiedades muy particulares, teniendo un contenido de almidón superior a los almidones habituales, gránulos más pequeños en comparación con otros, temperaturas de gelatinización más baja, buenas propiedades emulsionantes, buen encapsulante y una alta estabilidad. Estas propiedades las hacen competitivas frente a otras fuentes de almidón y adecuadas para aplicaciones alimentarias (Zárate, 2019; Li y Zhu, 2017; López- Fernández y Maldonado, 2013; Lindeboom et al., 2005; Qian y Kuhn, 1999).

El uso del almidón en forma nativa para procesos industriales presenta limitaciones, por su baja estabilidad, alto contenido de agua, alta viscosidad, altas temperaturas de gelatinización, que es responsable del deterioro de la calidad del producto. Estas características los hace menos adecuados para su aplicación. Para mejorar estas deficiencias los almidones requieren ser modificados mediante metodologías físicas, químicas o enzimáticas, que ayudaran a mejorar estas deficiencias y generar un producto alternativo y despertar el interés de las industrias por lo

que ha surgido un gran interés en explorar las características y utilización de almidones modificados, poco convencionales como el almidón de quinua (Khetto et al., 2022; Almeida et al., 2021; Almeida et al., 2019; Jan et al., 2017).

La modificación enzimática es un enfoque prometedor al ofrecer soluciones ambientalmente más favorables porque no involucran solventes o reactivos químicos, por otra parte, la hidrólisis enzimática tiene una reacción suave. La modificación enzimática es preferida ya que su reacción se realiza a temperaturas de sub gelatinización, reemplazando así los métodos químicos y físicos para la producción de almidón modificado (Punia et al., 2022). Además, que esta técnica ofrece a las industrias de procesamiento la utilización de esta técnica única, limpia, ecológica y respetuosa con el medio ambiente para cumplir las expectativas de los consumidores, proporcionando productos alimenticios de primera calidad. Es por ello que se pretende usar este tipo de modificación con el fin de obtener almidón de quinua con mejores características, para innovar el mercado e incentivar a generar más estudios sobre esta materia, debido a que es competitivo frente a otras fuentes de almidón y no se aprovecha adecuadamente (Zárate, 2019).

En ese sentido la presente investigación evaluará las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados enzimáticamente; así generar alternativas de comercialización y mejores fuentes económicas que beneficien a los productores de quinua en Apurímac y Perú a tener una mejor comercialización de este producto.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Cómo serán las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados a diferentes concentraciones de enzimas?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo serán las propiedades físicas de los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados a diferentes concentraciones de enzimas?
- ¿Cómo serán las propiedades químicas de los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados a diferentes concentraciones de enzimas?

- ¿Cómo serán las propiedades tecnofuncionales de los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados a diferentes concentraciones de enzimas?

### **1.3. Justificación de la investigación**

La producción y comercialización de quinua en el Perú ha ido incrementando a nivel nacional, la región Apurímac se encuentra en el tercer lugar en cuanto a la producción de este cereal, motivo por el que se tomó en cuenta realizar el presente proyecto, debido a que hay alta disponibilidad del producto para generar nuevas alternativas de consumo y aplicación generando más beneficios económicos a los productores de quinua.

Por otro lado, la quinua es un producto con alto contenido de almidón con propiedades muy particulares en comparación de otras fuentes de almidón. Sin embargo, hay escasos estudios sobre esta excelente fuente de almidón (Li y Zhu, 2018). Es por ello que nace la idea de extraer el almidón de quinua para innovar el mercado y despertar el interés de las industrias con un material altamente competitivo (Almeida et al., 2019). A la vez que este almidón requiere ser modificado para mejorar las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales.

Se utilizará modificación enzimática porque se pretende mejorar las características del almidón sin modificar y también porque este tipo de modificación es favorable para el cuidado ambiental en comparación con la modificación química. La modificación del almidón ha provocado una evolución de las nuevas tecnologías de procesamiento industrial, estos son creados para generar una ventaja competitiva incursionando nuevos productos, con mejores características asegurando la consistencia del producto y la vida útil (Murphy, 2000; Würzburg, 1986).

Es así que se pretende obtener un producto prometedor que sirva en la industria alimentaria como panadería, productos lácteos, confitería, snack, coberturas, sopas, productos cárnicos, entre otros, y en la aplicación no alimentaria como materiales biodegradables, embalajes, películas delgadas, materiales termoplásticos, material de pared para encapsulación, textilería, papelería, producción de alcoholes, entre otros (Biliaderis, 1998; Davies, 1995).

Finalmente se pretende evidenciar un trabajo de investigación con procedimientos y metodologías fiables que sirva como fuente para desarrollar más trabajos de este tipo.

## **1.4. Objetivos de la investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Evaluar las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados a diferentes concentraciones de enzimas.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades físicas de los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados a diferentes concentraciones de enzimas.
- Determinar las propiedades químicas de los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados a diferentes concentraciones de enzimas.
- Determinar las propiedades tecnofuncionales de los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados a diferentes concentraciones de enzimas.

## **1.5. Formulación de la hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

- Los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados enzimáticamente presentan mejores propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales que el almidón al 0 % de enzima.

### **1.5.2. Hipótesis específica**

- Los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados enzimáticamente presentan mejores propiedades físicas que el almidón al 0 % de enzima.
- Los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados enzimáticamente presentan mejores propiedades químicas que el almidón al 0 % de enzima.
- Los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) modificados enzimáticamente presentan mejores propiedades tecnofuncionales que el almidón al 0 % de enzima.

## CAPÍTULO II: ANTECEDENTES

### 2.1. Antecedentes internacionales

Almeida et al. (2022), tuvieron como objetivo estudiar las propiedades del almidón de quinua, determinaron la amilosa por el método espectrofotométrico, también determinaron el poder de hinchamiento y el índice de solubilidad mediante una suspensión de almidón del 1%, agitaron en tubos de plástico, seguidamente pusieron la muestra en baño termostático a diferentes temperaturas por 30 min, centrifugaron la suspensión, finalmente obtuvieron muestras secas y fueron calculadas mediante una ecuación; reportaron resultados de rendimiento de almidón que estuvieron entre 57.76 % y 59.97 %, también el contenido de amilosa que vario entre 3.01 % y 4.82 %, en el índice de solubilidad mencionaron como resultado que mientras la temperatura sea más elevada los valores son más altos, estuvo entre 2.72 % a 10.01 %, para la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier mostraron, indican la presencia de grupos CH, CH<sub>2</sub>, C – OH y OH, interacciones de agua- almidón, presencia de amilosa y amilopectina principalmente. Concluyeron mencionando que la modificación por calor y humedad son una alternativa de bajo costo, mencionaron también que la solubilidad y expansión del almidón tuvieron valores más altos a 80 °C, finalmente mencionan que el almidón de quinua puede ser potencialmente aplicado en la industria alimentaria.

Zhang et al. (2022) tuvieron como objetivo estudiar el efecto de las condiciones de la modificación enzimática y las propiedades emulsionantes del almidón de quinua; para la modificación enzimática utilizaron una solución mixta de enzima a concentraciones de 0.6 %, 1.2 %, 1.8 % y 2.4 % con un tiempo de hidrolisis de 6 horas, analizaron los tamaños de partícula utilizando un Mastersizer 3000 (Malvern, Reino Unido) y para la medición del potencial zeta utilizaron un analizador de nanopartículas Zetasizer ZEN 3690 (Malvern, Reino Unido). Los resultados que obtuvieron para el tamaño de partícula en relación al almidón nativo y modificado mostraron que, al aumentar la concentración de enzima, los tamaños de partícula disminuyeron significativamente; para el potencial zeta reportaron que al aumentar la dosificación de enzima resulto en un incremento en la estabilidad hasta 1.8 % de enzima y para 2.4 % de enzima el valor del potencial zeta se redujo mínimamente de -34.80 a -33.37 mV. Concluyeron mencionando que la modificación enzimática mejora todas las propiedades al tener una buena estabilidad mencionan también que las emulsiones basadas en almidones de quinua modificadas enzimáticamente tienen un potencial uso para la industria de aderezos o como sistemas de suministro de sustancias bioactivas.

Zhang et al. (2021) en su investigación modificaron almidón de quinua con enzimas,; su principal objetivo fue estudio de la estructura morfológica, distribución del tamaño de partícula, índice de emulsión; realizaron la modificación por 3, 6 y 9 horas con una concentración de enzima de 2.4 %; determinaron el porcentaje de amilosa por espectrofotometría a 620 nm, realizaron la medición del tamaño de partícula utilizando un Mastersizer 3000 (Malvern, Reino Unido) y para la medición del potencial zeta utilizaron un Zetasizer ZEN 3690 (Malvern, Reino Unido). Sus resultados para el porcentaje de amilosa fue de 18.58 % en almidón nativo; el tamaño de partícula oscilo de 1.170 a 0.993  $\mu\text{m}$  con disminución del tamaño al aumentar el tiempo de hidrolisis, el potencial zeta incrementó su valor al aumentar el tiempo de hidrolisis siendo de 3, 6 y 9 horas con un resultado de -34.6, -35.9 y -35.8 respectivamente, concluyeron mencionando que el aumento de tiempo de hidrolisis aumenta el almidón agrietado y roto, disminuye el tamaño de partícula y aumenta el valor del potencial zeta, afirman que el almidón de quinua modificado enzimáticamente tiene un potencial uso como emulsionante pickering en productos con alto contenido de aceite, como aderezos para ensaladas.

Almeida et al. (2019), estudiaron la influencia de la hidrolisis enzimática en almidón de arroz, tuvieron como objetivo caracterizar las propiedades del almidón modificado enzimáticamente con  $\alpha$ -amilasa y amiloglucosidasa. Donde determinaron la temperatura de gelatinización usando en calorímetro diferencial de barrido (DSC), determinaron los grupos funcionales a través de la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), usando spectrum 400 en la región de 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ , la actividad de agua fue medida con el dispositivo Decagon® Aqualab CX-2T a 25 °C, los contenidos de amilosa fueron determinados por espectrofotometría. Sus resultados para la temperatura de gelatinización variaron de 75.45 a 77.81°C, obtuvieron valores de actividad de agua que vario de 0.361 a 0.397, reportaron que la amilosa varia de 16.20 a 17.89 (g/g). mencionan que la enzima  $\alpha$ - amiloglucosidasa modifica solo la amilopectina del almidón, señala también que esta enzima actúa principalmente en la fracción cristalina del granulo de almidón y transforma las moléculas de amilopectina en glucosa cuando se modifican.

Ballester-Sánchez et al. (2019), estudiaron las propiedades físicas y químicas del almidón de quinua, tuvieron como objetivo realizar los análisis físicos y químicos del almidón, para la extracción del almidón utilizaron  $\text{SO}_2$ , los parámetros que utilizaron para el remojo de la quinua fue el tiempo y la temperatura, evaluaron el índice de blancura del almidón y el contenido de amilasa y amilopectina estuvo basada en el método de concanavalin-A, desarrollaron el color con un colorímetro digital, las propiedades térmicas fueron determinadas con el calorímetro diferencial de barrido, la viscosidad se midió con un analizador rápido de viscosidad, los

resultados que reportaron para el índice de blancura fueron del 89 a 91 %, temperatura de gelatinización estuvo en un rango de 51.2 y 54.4 °C y la temperatura de retrogradación estuvo entre 35.6 a 40.0 °C, mencionan que las mejores condiciones estuvieron a un tiempo de remojo de 6 a 5 horas a una temperatura de 30 °C, concluyeron mencionando que los parámetros de tiempo y temperatura de remojo afectaron significativamente aumentando o disminuyendo sus valores, resaltan también que aún falta más investigaciones sobre el almidón de quinua ya que sus propiedades son óptimas para aplicaciones en nuevos aditivos alimentarios, productos farmacéuticos cosméticos, fabricación de papel y textil.

Leyva (2018), tuvo como objetivo caracterizar las propiedades fisicoquímicas del almidón de maíz modificado enzimáticamente; las metodologías que emplearon fueron las siguientes, modificó el almidón con la enzima  $\alpha$ -amilasa, utilizó el analizador rápido de viscosidad (RVA Perton 4500); los resultados de esta investigación en cuanto a la hidrólisis enzimática, verificaron que hubo un aumento de poros y del área superficial afectada mientras más tiempo de exposición con la enzima; el porcentaje de amilosa para el almidón nativo fue de  $22.2 \pm 0.3\%$ , mientras que para los almidones modificados a tiempo de 16 y 20 horas fueron  $27.4 \pm 0.2 \%$  y  $28.7 \pm 0.4\%$ , en la gelificación tuvo un aumento de temperatura a diferencia del almidón nativo; concluyeron mencionando que el tiempo de modificación es muy influyente en el porcentaje de almidón modificado, así mismo menciona también que las microcapsulas formadas con almidón modificado enzimáticamente de maíz tienen una mejor estabilidad en cuando al almacenamiento y la digestión in vitro.

Jan et al. (2017), estudiaron almidón de diferentes variedades de quinua india, tuvieron como objetivo analizar las propiedades estructurales, térmicas y reológicas. Determinaron el color del almidón con un colorímetro Hunter; determinaron el porcentaje de amilosa por colorimetría utilizando el reactivo dimetilsulfóxido (DMSO), para el análisis de la temperatura de gelatinización usaron un calorímetro diferencial de barrido (DSC). Los resultados que obtuvieron para color en cuanto a la luminosidad oscilo de 96.8 a 97.25; reportaron que el porcentaje de amilosa oscilo de 9.46 a 12.10 %; los valores que obtuvieron para la temperatura de gelatinización estuvieron entre 62.7 a 72.85 °C, concluyeron mencionado que los valores de luminosidad fueron altos y pueden ser utilizados en formulaciones de productos sin ningún inconveniente con el color, mencionan también que estos almidones pueden ser utilizados como (espesantes, estabilizantes y alimentos para bebes) y aplicaciones no alimentarias (productos farmacéuticos y textiles).

Kim et al. (2015) tuvieron como objetivo modificar el almidón de cebada y arroz a diferentes concentraciones de enzima y caracterizar estos almidones; determinaron el poder de



hinchamiento y solubilidad con métodos termogravimétricos y la temperatura de gelatinización con un calorímetro diferencial de barrido. Reportaron que el almidón nativo de cebada y arroz obtuvo un poder de hinchamiento de 10.7 (g/g) y 11.2 (g/g) respectivamente, para almidón modificado enzimáticamente de cebada y arroz fue de 4.8 (g/g) y 5.0 (g/g) respectivamente, en cuanto a la solubilidad reportaron datos para almidón nativo de cebada de 49.5% y modificado 14.9 y almidón de arroz nativo 50.6% y modificado de 46.6%, la temperatura de gelatinización fue del almidón nativo de cebada fue de 67°C y modificado 95.9 °C, para el almidón de maíz nativo fue 68 °C y modificado 95.2 °C. Concluyen mencionando que el almidón modificado enzimáticamente tiene un potencial para ser usados en la industria alimentaria y no alimentaria.

Zhang et al., (2012), desarrollaron almidón modificado enzimáticamente de maíz, tuvieron como objetivo evaluar las características estructurales y químicas del almidón poroso mediante espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR), también investigaron los factores de reacción, incluida la relación de masa de  $\alpha$ -amilasa y glucoamilasa, relación de masa de la cantidad total de enzimas a almidón, temperatura de reacción enzimática y tiempo de reacción enzimática, los resultados para los espectros IR mostraron que las posiciones de los picos no han cambiado después de la reacción enzimática por que la reacción enzimática no puede conducir al cambio de la estructura molecular del almidón, pero si hay variación en las intensidades de los picos y las condiciones óptimas de reacción al 2 % de enzima con una relación 6:1 amilasa: glucoamilasa, temperatura de gelatinización de 50 °C y un tiempo de reacción de 12 a 16 horas, concluyen mencionando que el almidón modificado enzimáticamente tiene una biodegradabilidad total y es respetuoso con el medio ambiente, puede ser usado como absorbente en alimentos, medicinas, industria química, cosméticos, agricultura y otros campos relacionados.

Dura et al. (2014), tuvieron como objetivo modificar enzimáticamente el almidón de arroz y caracterizar su funcionalidad, determinaron el poder de hinchamiento, capacidad de absorción de agua y la solubilidad en agua del almidón modificado mediante métodos termogravimétricos, la temperatura de gelatinización por el calorímetro diferencial de barrido, los resultados para poder de hinchamiento y capacidad de absorción de agua que obtuvieron fue para almidón nativo de 1.96 (g/g) y 1.93 (g/g) en almidón de maíz modificado enzimáticamente y 1.94 (g/g) en almidón nativo y modificado enzimáticamente de 1.54 (g/g) respectivamente, la solubilidad en almidón nativo fue de 1.13% y modificado fue 20.08%, la temperatura de gelatinización oscilo de 70.43 a 72.18 °C, concluyen mencionando que los resultados de la modificación enzimática a

temperaturas de subgelatinización realmente ofrece una alternativa atractiva para obtener gránulos de almidón poroso.

Boudries et al. (2009) estudiaron las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de sorgo, determinaron el color a través de un espectrocolorímetro, cuantificaron la amilosa y amilopectina mediante la espectrofotómetro, determinaron el poder de hinchamiento y la solubilidad a través de metodologías termogravimétricas, la temperatura de gelatinización lo realizaron mediante el calorímetro diferencial de barrido, reportaron los resultados de color en cuanto a la L\* oscilo de 91.06 a 92.91; a\* oscilaron de -0.47 a -0.29 y el croma b\* oscilo de 3.58 a 4.15; sus resultados para amilosa estuvieron entre 27.1 a 24.8% la amilopectina fue la diferencia con respecto a la amilosa; reportaron que el poder de hinchamiento incremento con respecto a la temperatura hasta un 14.7 g/g al igual que la solubilidad incremento hasta un 12.5% a una temperatura de 95 °C, la temperatura de gelatinización oscilo de 70.60 a 72.29 °C. concluyeron mencionado que el poder de hinchamiento y la solubilidad para el almidón de sorgo son más altos a diferencia del almidón de trigo, mencionan que este almidón exhibió características interesantes aptas para ser usadas en productos alimenticios como agentes espesantes y gelificantes, que requiere más investigaciones para comprender las relación entre las características, las aplicaciones industriales y el producto final.

## **2.2. Antecedentes nacionales**

Maza (2020), estudio cinco variedades de almidón de quinua, tuvo como objetivo la extracción y caracterización fisicoquímicas y tecnofuncionales de los almidones de quinua, para determinar el color utilizó un espectrocolorímetro, para la temperatura de gelatinización utilizo un multicalorímetro diferencial de barrido, los resultados que obtuvo para el color en la luminosidad vario de 98.79 a 99.32, en el croma a\* vario de 0.01 a 0.17 el croma b\* oscilo de 1.05 a 1.56; mostró que la temperatura de gelatinización para las cinco variedades oscilo de 56.01 a 58.13 °C, concluye mencionando que obtuvo altos resultados de luminosidad, el almidón de quinua pude ser utilizada en productos que no requieran temperaturas elevadas por su baja temperatura de gelatinización.

Choquehuayta (2017), tuvo como objetivo identificar las propiedades físicas y químicas de cinco variedades de almidón de quinua, determinaron la amilosa por una medición espectrofotometría y la amilopectina por diferencia, el rendimiento de almidón fue determinado por una ecuación, tuvo como resultado para el rendimiento del almidón para la variedad rosado choclo taraco de 28.95 %, Illapa INIA con 26.41 %, altiplano 22.87 %, salcedo INIA 22.40 % y kankolla fue de

22.27 %, mostro que la amilasa del almidón de quinua tiene un bajo contenido (8-10.32 %), concluyo mencionando que la mejor variedad en cuanto al rendimiento, fue la rosada cholo taraco que obtuvo un 28 % y que el contenido de amilosa y amilopectina están relacionadas con las propiedades funcionales del almidón.

Arzapalo et al. (2015), estudiaron las propiedades físicas, químicas y funcionales de almidón extraído de tres variedades de quinua, midieron el pH utilizando el potenciómetro, midieron el color mediante el sistema CIELAB, determinaron viscosidad, temperatura de gelatinización, índice de solubilidad en agua, índice de absorción de agua, poder de hinchamiento y retrogradación. Los resultados que obtuvieron en rendimiento del almidón para la variedad de blanca Junín fue 30.62 %, Pasankalla roja 26.71 % y negra Collana 18.95 %, en cuanto a las propiedades funcionales los almidones presentaron baja solubilidad con valores de 4.94 a 5.03 % y poder de hinchamiento con 0.66 a 0.74 %, temperatura de gelatinización con valores de 66 a 69 °C, mostraron valores de viscosidad que variaron entre 1009 y 2006 cP, presentaron valores de retrogradación entre 41.36 a 72.34 %, obtuvieron valores de color en L\* que vario entre 42.29 a 80.89, finalmente concluyeron mencionando que el almidón de quinua tiene un rendimiento más alto que otros tipos de cereales y tubérculos que lo hacen rentables.

## CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

### 3.1. Bases teóricas

#### 3.1.1. Quinua

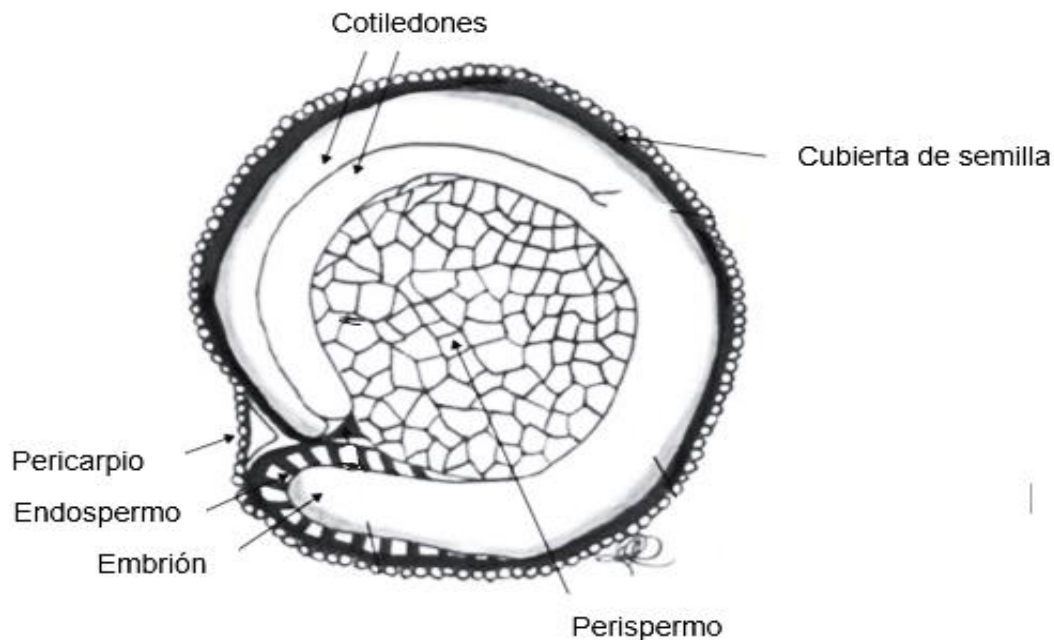
Quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) es un pseudo-cereal que se cultiva en la región andina de América del Sur desde hace más de 7000 años (Pearsall, 2008). La quinua se compone principalmente de carbohidratos (60-75%), de los cuales 10-13% es fibra dietética. La quinua también tiene un contenido de proteína ligeramente superior (12-16 %) en comparación con los cereales y un contenido de grasa (5-9 %) que es rico en ácidos grasos insaturados. Las semillas de quinua contienen cantidades similares o ligeramente superiores de compuestos bioactivos como los polifenoles (2,7–3,8 g/kg) (Vega-Gálvez et al., 2010). Además, la quinua no contiene gluten, lo que brinda la posibilidad de mejorar la selección de productos sin gluten para los consumidores con enfermedad celíaca.

#### 3.1.2. Grano de quinua

El grano de quinua se sub divide por partes que a continuación explicare, el pericarpio es la parte externa del grano en esta parte se encuentra la saponina sustancia que le da sabor amargo a la quinua, el grano está envuelto por la episperma como una capa delgada, el embrión está formado por cotiledones y radícula, que constituye una gran parte del grano el cual cubre al perisperma como un anillo. El perisperma es la parte donde se encuentra el almidón en gran cantidad es de color blanco como se muestra en la Figura 1 (Tapia, 1979).

## Figura 1

### *Estructura longitudinal del grano de quinua*



*Nota:* Sección longitudinal del grano donde el pericarpio cubre la semilla, el embrión contiene las proteínas y el perispermo es la parte donde está el almidón (Arendt y Zannini, 2013).

### **3.1.3. Variedad de quinua pasankalla roja y ecotipo choclito**

La quinua pasankalla roja tiene una coloración rojiza, un diámetro de grano de 2.10 mm con forma cilíndrica, tiene una Humedad de 8.88%, proteínas 16.15 %, fibra 2.10%, cenizas 2.13%, grasa 5.94% y carbohidratos de 64.80%, contiene 0.04% de saponinas dulce (Apaza et al., 2013).

La quinua choclito tiene una coloración blanca y un contenido de saponina de 0.04 %, la efusión de esta saponina es dulce, este ecotipo presenta muchas ventajas a comparación de las ya existentes sin embargo no presenta estudios de investigación por lo que no se obtiene mayor información acerca de esta variedad (MINAGRI, 2017).

### **3.1.3. Composición química de la quinua**

Los granos de quinua tienen una valiosa composición nutricional por su excelente equilibrio de aminoácidos esenciales y ausencia de gluten como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1***Composición proximal de la quinua*

Componentes	(Pereda, 2016)	(Wright et al., 2002)	(Nowak, Du y Charrondière, 2016)	(Ogunbenle, 2003)
Proteína	9.89	16.7	15.7	13.5
Grasa	6.69	5.5	7.6	6.3
Ceniza	3.22	3.2	-	1.2
Carbohidrato	-	74.7	-	58.3
Fibra cruda	-	10.5	14.1	9.5

**3.1.4. Almidón**

El almidón es un polisacárido ampliamente utilizado en la industria, es considerado como una fuente de energía para muchos organismos, este representa un gran porcentaje en una inmensa variedad de productos como los cereales que contienen de un 30 hasta un 70 %, tubérculos 60 a 90 % y leguminosas de 25 a 60% (Espinosa, 2008).

Está constituido por dos macromoléculas que son, la amilosa que tiene una cadena lineal soluble en agua y la amilopectina una cadena ramificada insoluble en agua, esta composición macromolecular le confiere características físicas, químicas y tecnofuncionales diferentes a los almidones de diferentes fuentes, se dice que los almidones tienen entre 17 y 27 % de amilasa y la diferencia de amilopectina, hay otros cereales que contienen cantidades más altas de amilosa y eso se debe a los factores genéticos de cada cereal este carbohidrato es muy importante en la dieta humana, muy aparte de que tienen muchos usos en las diferentes industrias por su abundancia en distintas plantas, frutos, cereales y tubérculos y actúa como reserva de energía, la cantidad de almidón que se extraiga varía del estado de madures de las plantas (Badui, 2016). En la Tabla 1 podemos apreciar algunas características de los almidones convencionales que se producen en la actualidad.

**Tabla 1***Características de los almidones más usados en la industria.*

<b>Tipo</b>	<b>Amilopectina</b>	<b>Amilosa (%)</b>	<b>Temperatura de gelatinización</b>	<b>Tamaño de granulo (micras)</b>
Maíz	69-64	26-31	62-72	5-25
Maíz rico en amilosa	20-45	55-80	67-80	5-25
Papa	73-77	18-27	58-67	5-100
Arroz	83	17	62-78	2-5
Tapiaco	82	18	51-65	5-35
Maíz céreo	99-100	0-1	63-72	5-25
Sorgo céreo	99-100	0-1	67-74	5-25
Trigo	76	24	58-64	11-41

*Fuente: (Badui, 2016).***3.1.5. Almidón de quinua**

El grano de quinua está compuesta principalmente de almidón que tiene hasta un 70 % de materia seca, los gránulos de almidón son bastante diminutos a diferencia de los almidones convencionales, tiene un porcentaje de amilosa que varía de 3 a 22 %, por otra parte la amilopectina tiene una cantidad significativa de cadenas cortas y cadenas super largas con un contenido de 77.5 a 95.5 %, es considerado también un material semicristalino con alto índice de solubilidad en agua, alto poder de expansión, mencionan que estas propiedades son mejores a los almidones tradicionales de arroz y trigo, el almidón de quinua ha generado muchísimo interés, recientes estudios mencionan que el almidón de quinua puede ser un ingrediente útil para alimentos y no alimentos en distintas aplicaciones como en emulsionantes pickering es un excelente producto para realizar películas comestibles, biopelículas activas, entre otros (Li y Zhu, 2018). Se muestra en la Tabla 2 algunas aplicaciones el almidón de quinua con respecto a algunas de sus propiedades.

**Tabla 2**

*Aplicaciones del almidón de quinua en la industria alimentaria.*

Aplicaciones	Características del almidón de quinua
Sopas	Baja temperatura de gelificación y un alto grados de solubilidad en agua.
Extruidos	Por su dureza, textura, absorción de agua y tamaño de granulo.
Pastas	Bajo contenido de amilosa buen índice de absorción de agua y por su baja temperatura de gelificación.
Productos vegetarianos	Por su bajo contenido de amilosa y baja temperatura de gelificación.
Galletas	Dureza.

*Nota:* En la Tabla se muestra las características por las cuales se utilizan en los diversos tipos de alimentos (Zárate, 2019).

### **3.1.6. Almidones modificados**

Un almidón modificado es el derivado del almidón nativo con cambios en una, dos o más propiedades a nivel estructural, morfológico y fisicoquímico (Salcedo-Mendoza y Contreras-Lozano, 2017). La modificación del almidón puede realizarse usando tratamientos físicos, químicos, enzimáticos o una combinación de los mismos.

Almeida et al., (2021), mencionan que para aumentar la aplicación del almidón nativo a nivel industrial tiene que pasar por una modificación, ya que su forma nativa está limitada a ser utilizada para diferentes fines por su baja fluidez, contenido de pasta transparente bajo, delicadeza a la degradación, temperatura de gelificación alta, rápida degradación enzimática, alta turbidez de gel y alto contenido de agua, para satisfacer su demanda industrial es necesario modificar este polisacárido ya sea por métodos químicos, físicos o enzimáticos, dando resultados favorables como una mayor estabilidad en almacenamiento, mayor retención de agua, para mejorar la textura de panes, galletas, productos lácteos como yogur, sustituyendo así a los almidones tradicionales como la de trigo, maíz y arroz como también a los espesantes como la goma xantana, goma guar y pectina (Almeida et al., 2019).

### **3.1.7. Tipos de modificación**

La modificación de los almidones ha llevado al desarrollo de nuevos conocimientos de procesamiento y productos innovadores para el mercado a nivel mundial, ya que tienen una ventaja competitiva en productos mejorados, estética del producto, costos de producción menores, asegurar la consistencia del producto y extender la vida útil, haciendo que el almidón



sea un producto relevante en todas las etapas del ciclo de vida de un producto alimenticio (Murphy, 2000; Würzburg, 1986).

En los últimos años se han realizado diversos estudios de las modificaciones en almidón donde las técnicas más utilizadas son las modificaciones químicas, físicas y enzimáticas (Bemiller, 1997).

### **A. Modificación Química**

Es un cambio que involucra las moléculas de los polímeros, se realiza principalmente por derivatización, eterificación, esterificación, reticulación y oxidación, no obstante, este tipo de modificación a causado problemas con la salud de los consumidores y el medio ambiente, de modo que las modificaciones químicas se han combinado con modificaciones físicas como microondas, radiación y extrusión, dando como resultado un corto tiempo de modificación y consigo el aumento de la producción (kaur et al., 2012).

### **B. Modificación física**

Se ha comprobado que este tipo de modificación es segura, no atenta contra la salud del consumidor y tampoco con el medio ambiente ya que no se utilizan insumos químicos algunos de los métodos físicos son: el tratamiento de presión osmótica, congelación y descongelación múltiple, activación mecánica- con agitación de molino de bolas, sincronización en molino de bolas al vacío, tratamientos de campos eléctricos pulsados, descargas eléctricas de corona y almidón sobre calentado que son mencionados por (kaur et al., 2012).

### **C. Modificación enzimática**

El uso de almidones modificados por vía enzimática ha adquirido importancia debido a las restricciones de uso de los agentes químicos modificantes. Además, los cambios a nivel estructural y fisicoquímico mediante esta modificación han sido más relevante (BeMiller y Whistler, 2009). Así mismo el tratamiento enzimático minimiza la formación de productos indeseables como sub productos, coproductos y reacciones secundarias.

La hidrólisis enzimática actúa cambiando la estructura del almidón en cuanto a la masa molecular, el tamaño longitudinal de las cadenas ramificadas y lineales y la relación de amilosa/amilopectina pueden alterarse con la reacción enzimática acompañado de una temperatura de subgelatinización (Punia et al., 2022).

Existen diferentes tipos de enzima que se encargan de hidrolizar los enlaces glucosídicos, nombrados como  $\alpha$ -amilasa,  $\beta$ -amilasa, amiloglucidasa y pululanasa, las cuales tienen distintas actividades enzimáticas dependiendo de su origen. A su vez la modificación se puede realizar de diferentes formas ya sea con una sola enzima, dos o más enzimas, secuencial, diferentes

enzimas en diferentes etapas, en la presente investigación se realizó con dos enzimas en una sola etapa, las enzimas que se usaron fueron ( $\alpha$ -amilasa: amiloglucosidasa) (Tomasik y Horto, 2012).

#### ✓ **Enzima $\alpha$ -amilasa y amiloglucosidasa**

Las amilasas se dividen en tres grupos: endo-amilasas, exo-amilasas y enzimas de desramificación (Tomasik y Horton, 2012).

La  $\alpha$ -amilasa pertenecen al grupo de las endo-amilasas y amiloglucosidasa al grupo de las exo-amilasa, la primera enzima corta los enlaces glucósidos  $\alpha$ -(1,4), que están presentes en la parte interna de la cadena amilosa o amilopectina para producir glucosa, maltosa, oligosacáridos de bajo grado de polimerización, la segunda enzima a diferencia de la  $\alpha$ -amilasa corta enlaces glucosídicos de  $\alpha$ -(1,4) y  $\alpha$ -(1,6), esta enzima actúa sobre los residuos de glucosa externa de amilosa o amilopectina por lo que solo producen glucosa al modificarse (Nebesny, 1992), menciona que al modificar un almidón con estas dos enzimas simultáneamente se muestra la presencia de glucosa, maltosa, maltotriosa, maltotetraosa, maltopentosa y dextrinas.

#### **3.1.8. Propiedades físicas**

Son propiedades que no tienen cambios en las características químicas del almidón, donde no está involucrada la ruptura y creación de enlaces químicos como la solubilidad, gelatinización, retrogradación, etc. (Charles et al., 2004).

##### **A. Color**

Es una característica sensorial que se puede medir utilizando parámetros físicos cuantificables, en la industria alimentaria el color es muy importante para en el control de calidad de un producto. El color es afectado por diversos factores como la iluminación, espectro, el observador, la presencia de pigmentos, tamaño, textura y el brillo de la muestra que se analiza. En la actualidad la seguridad y la calidad de un alimento es un criterio muy importante, por lo cual la tecnología a nivel de la medición de color se ha actualizado con la finalidad de realizar con mayor eficacia las pruebas físicas a los alimentos donde la medición se realiza de manera precisa, rápida y objetiva (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).

El sistema CIELAB es un método que se ha venido utilizando ampliamente para evaluar el color en los alimentos, identificar inconsistencias para establecer las tolerancias de color dependiendo el tipo de producto que se analice, para esto se utiliza las coordenadas  $L^*a^*b^*$ , para ver si un producto pasa o no el proceso de inspección de calidad; si bien es cierto el sistema CIELAB es

un sistema cartesiano que se forman por tres ejes, el primero es el eje vertical que está representado por ( $L^*$ ) y los dos ejes horizontales ( $a^*$  y  $b^*$ ) (Minolta, 1998).  $L^*$  representa la luminosidad de un color que varía desde 0 para un negro hasta 100 para un blanco; mientras tanto el eje horizontal  $a^*$ , representa una medida del contenido de rojo o de verde de un color. Si un color tiene rojo,  $a^*$  será positiva, pero si un color tiene verde,  $a^*$  será negativa. El eje horizontal  $b^*$  perpendicular al eje  $a^*$ , representa una medida de amarillo o de azul de un color donde  $b^*$  positivo indica un contenido de color amarillo y los valores negativos de  $b^*$  indican contenido de azul (Talens, 2017).

## **B. Actividad de agua**

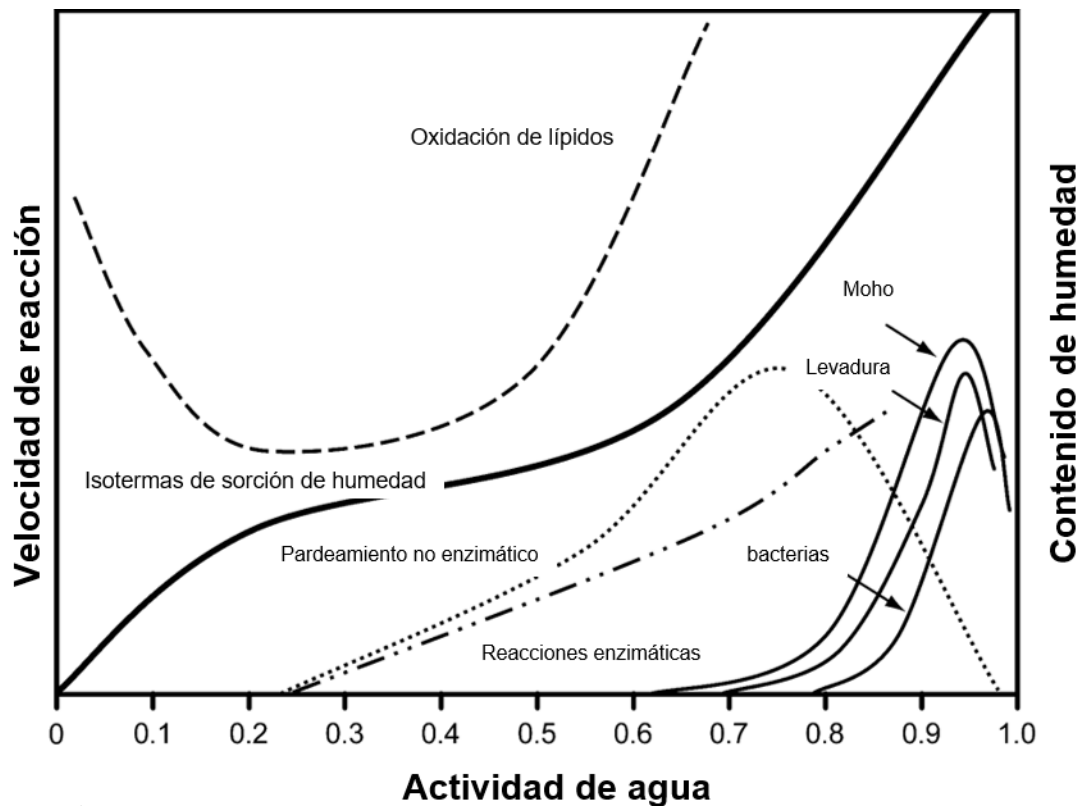
La actividad de agua según Badui, (2016), está definida por componerse de dos partes, agua libre y ligada, siendo el agua libre, el agua disponible para el crecimiento microbiano y reacciones negativas en las propiedades reológicas y coligativas donde se verán influenciadas las características de calidad de un alimento como el tiempo de vida útil, la actividad microbiológica y algunas reacciones físicas, químicas y enzimáticas no deseadas, es un análisis que siempre se debe tomar en cuenta ya que se puede predecir la estabilidad y la vida útil de un producto alimenticio.

En los estudios de Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos, la actividad de agua está considerada como un punto crítico, los valores varían des 1. 0 para el agua libre hasta 0 para un producto totalmente seco, generalmente mientras más cerca este a 1 la actividad de agua la inestabilidad de un producto será mayor.

El comportamiento de la actividad de agua se muestra en la Figura 2, se explica a continuación. El pardeamiento no enzimático generalmente ocurre entre 0.2 a 0.3, por otra parte, la oxidación de lípidos ocurre entre 0. 2 a 0. 35, sin embargo, es importante saber que ningún microbio puede crecer a 0,6 aw. Pero, aunque no pueden crecer, pueden sobrevivir con una aw baja y, si se añaden a un medio adecuado, pueden resucitar y empezar a crecer de nuevo. Ante esto, es importante conocer la relación entre el contenido de humedad y aw de un alimento (Labuza, 1970).

**Figura 2**

*Comportamiento de la actividad de agua*



Nota: estabilidad de los alimentos en función a la actividad de agua y a la humedad Labuza (1970).

### **C. Tamaño de partícula por difracción láser**

Esta técnica de difracción láser para la medición de tamaño de partícula, se lleva a cabo midiendo la intensidad de luz que se dispersa cuando el haz del láser pasa a través de una muestra de partículas dispersas, para luego ser analizados y calcular el tamaño de partícula que creó el patrón de dispersión, para el cual la muestra dispersada pasa a través de la zona de medición del banco óptico, donde un haz de laser ilumina las partículas. Una serie de detectores mide con total precisión la intensidad de luz dispersa por las partículas en la muestra, para la longitud de onda en una amplia variedad de ángulos (Luxán y Frías, 1988).

### **D. Potencial $\zeta$**

La potencial zeta es la medida de la repulsión o atracción electrostática entre partículas y es el mejor indicador de la estabilidad de las dispersiones. Se determina mediante la medición de la velocidad de las partículas cargadas que se mueven hacia el electrodo a través de la solución de muestra en presencia de un campo eléctrico externo. Deben alcanzarse valores altos de

potencial zeta, ya sea negativo o positivo que indica una buena estabilidad como se muestra en la tabla 3 (Joseph y Singhvi, 2019).

**Tabla 3**

*Valores del Potencial  $\zeta$  y características de la suspensión*

<b>Valores del potencial <math>\zeta</math></b>	<b>Características de la suspensión</b>
-21 a -30 mV	Ligera estabilidad
-31 a -40 mV	Estabilidad media
-41 a -50 mV	Buena estabilidad
-51 a -60 mV	Estabilidad muy buena
-61 a -80 mV	Excelente estabilidad
-81 mV a -100 mV	Estabilidad máxima

Nota: mV: milivoltios (Aguilar, 2002).

### **3.1.9. Propiedades químicas**

Esta propiedad cambia debido a reacciones químicas, que implican la ruptura y creación de nuevos enlaces, como la hidrólisis, oxidación, esterificación, etc. (Charles et al., 2004).

#### **A. Amilosa y amilopectina**

El almidón tiene dos macromoléculas la amilosa que es lineal, compuesta por unidades de glucosa de  $\alpha$ -1, 4 con un peso molecular de  $1 \times 10^6$ , es diez veces mayor que los polímeros sintéticos comunes y la amilopectina es ramificada con cadenas cortas de  $\alpha$ -1, 4 unidas por enlaces  $\alpha$ -1, 6 como se muestra en la Figura 3; su peso molecular es aproximadamente  $1 \times 10^8$  definitivamente es un número mucho mayor que la amilosa, es por estas características que reduce la movilidad de las cadenas poliméricas (Zou et al., 2012).

La amilosa tiene una estructura helicoidal estabilizada por átomos de hidrógeno, mientras que los grupos hidroxilos permanecen en el exterior. La presencia de átomos de hidrógeno le confiere carácter hidrófobo y además formar complejos de inclusión con yodo, ácidos grasos libres o alcoholes (Tester et al., 2004; Bertoft, 2017). Estas hélices zurdas son más compactas que las hélices dobles y una vuelta de la hélice puede comprender entre 6 y 8 unidades de D-glucosa, dependiendo de la molécula huésped. Sin embargo, la amilosa es inestable en soluciones acuosas, especialmente en agua pura, y tiende a formar dobles hélices que precipitan fácilmente (Bertoft, 2017).

Las cadenas cortas de amilopectina forman dobles hélices, que se cristalizan y contribuyen a la naturaleza semicristalino del gránulo (Pérez y Bertoft, 2010). Un tercer componente polimérico se ha identificado en almidones cerosos designado como “materiales intermedios”, cuya

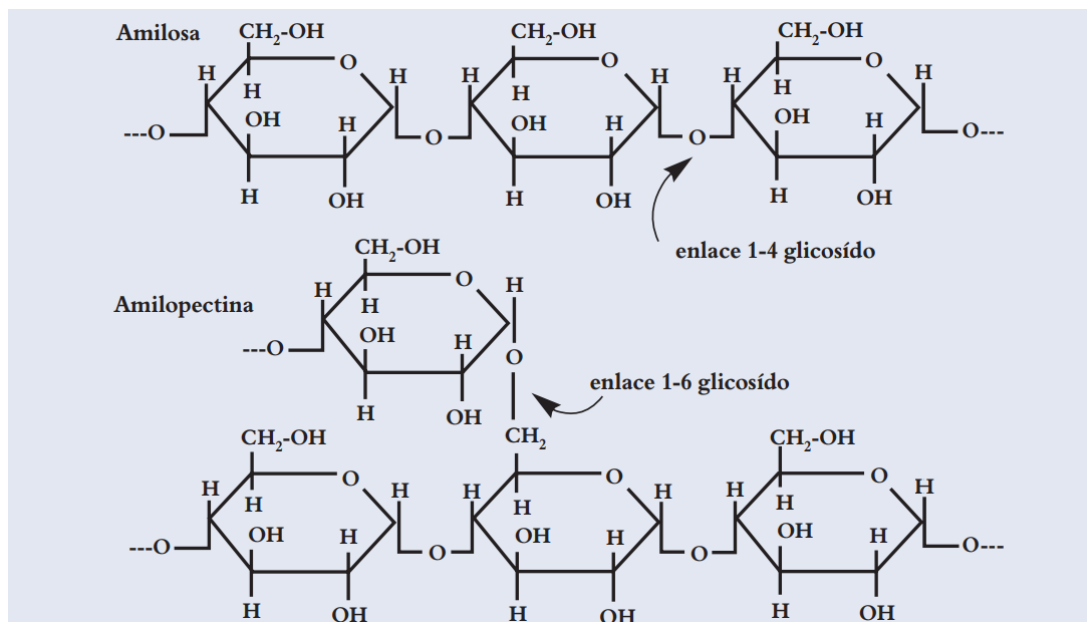
organización heterogénea no se encuentra plenamente identificada, pero es objeto de estudio para comprender la biosíntesis del almidón y la contribución de las enzimas involucradas en el proceso (Pérez y Bertoft, 2010; Bertoft, 2017).

La cantidad de amilosa tiene un papel muy importante en cuanto a la digestión de los almidones, se demostró que los almidones con baja cantidad de amilosa como el almidón de quinua son más digeribles, que aquella que tienen más cantidad de amilosa (Riley et al., 2004), como también puede ser utilizado en la formulación de dietas para personas con diabetes y en la elaboración de pastillas como desintegrante por su contenido bajo contenido de amilosa (Manudhame et al., 1969)

El contenido de estas dos macromoléculas dependerá mucho del origen botánico del almidón por ejemplo los almidones céreos contienen aproximadamente un 15% de amilosa, los almidones normales entre 20 y 35% y los almidones con amilosa alto contienen aproximadamente 40%, en la Tabla 4 se describe algunas propiedades físicas y químicas en cuanto a la amilosa y amilopectina (Tester, Karkalas y Qi, 2004)

**Figura 3**

*Estructura química de la amilosa y amilopectina*



*Nota:* Amilosa tiene una estructura lineal y la amilopectina una estructura ramificada (Benítez, 2006)

**Tabla 4***Propiedades fisicoquímicas de la amilosa y amilopectina*

<b>Propiedades</b>	<b>Amilosa</b>	<b>Amilopectina</b>
Estructura molecular/ ramas	$\alpha$ -1-4/ Lineal	$\alpha$ -1-4; $\alpha$ -1-6/ Ramificado
Peso molecular	$10^5$ - $10^6$ Da	$10^7$ - $10^9$ Da
Solubilidad	Baja/ apenas soluble	Alta
Temperatura de gelatinización	Baja	Alta
Amilosa- lípido	Cantidad muy alta	No
Formación de gel	Firme, irreversible	Suave, reversible
Película	Coherente	No se forma fácilmente
Viscosidad	Baja	Alta
Espesante	Pobre	Bueno
Estabilidad al corte	Relativamente estable	Inestable
Fuerzas adhesivas	Débil	Fuerte

*Fuente:* (Schirmer et al., 2015)**B. Espectrofotometría por transformada de Fourier (FTIR)**

Es una técnica instrumental analítica utilizada ampliamente en el análisis químico para identificar la 'huella digital' química. Se obtiene un espectro infrarrojo que puede ser particularmente útil para la identificación de plásticos y materiales sintéticos. El espectro derivado del análisis infrarrojo refleja el enlace químico de la molécula, proporcionando cierta información sobre la estructura de la sustancia desconocida (Thatcher et al., 2000)

Consiste en pasar una luz IR a través de una muestra y registrar la intensidad de la luz una vez que ha pasado a través de muestra. Parte de la luz es absorbida por la molécula, lo que da como resultado vibraciones moleculares, principalmente estiramiento o flexión. Los diferentes tipos de estiramiento y flexión son característicos de un tipo de enlace individual y el espectrómetro registra el espectro que se caracteriza por la ausencia de estas frecuencias absorbidas (Donovan, 2023).

**3.1.10. Propiedades tecnofuncionales**

Esta propiedad hace referencia a toda propiedad no nutricional pero que desempeñan un papel muy importante en las tecnologías de procesamiento de alimentos, es una propiedad que contribuye en el desarrollo de nuevos productos alimenticios, tiene alguna relación con los caracteres sensoriales de un alimento como la textura, capacidad de retención de agua, solubilidad, propiedades emulsionantes y formación de gel, etc. (Shokri et al., 2022).

## **A. Temperatura de gelatinización**

El almidón es insoluble en agua fría, esto se debe a su estructura que presenta una gran estabilidad, pero cuando este se calienta ocurre un cambio que el almidón empieza a absorber agua y los gránulos empiezan a hincharse y verse más voluptuosos sin afectar la viscosidad, y al alcanzar una temperatura que normalmente están cercanas a 65°C, dependiendo de cada tipo de almidón, el gránulo de almidón alcanza su tamaño máximo y pierde en gran cantidad su patrón de difracción de rayos x como la propiedad de birrefringencia, si se le proporciona más calor, el gránulo hinchado, incapacitado para retener el líquido, se rompe parcialmente y la amilosa como la amilopectina fuertemente hidratadas, se dispersan en el seno de la disolución. Es ahí donde se pierde la estructura original y la birrefringencia del gránulo por lo que se produce un aumento de viscosidad y aproximadamente el 30% de la amilosa se encuentra en solución, esto quiere decir en una transición de un estado ordenado a otro desordenado y a esto se le conoce como la gelatinización.

La temperatura de gelatinización es en donde se alcanza el máximo de viscosidad y se pierde la birrefringencia y el patrón de difracción de rayos x, esta temperatura en un intervalo, ya que los gránulos de almidón tienen diferente composición y grado de cristalinidad, aunque sean de la misma fuente botánica, lo que provoca que unos sean más resistentes que otros, este parámetro se ve afectado por la presencia de múltiples compuestos químicos que favorecen o inhiben los puentes de hidrógeno (Graham, 1978).

## **B. Índice de absorción de agua y solubilidad en agua**

El almidón al someterse a cualquier metodología que incluya temperatura de cocción, se manifiesta con un grado de gelatinización del almidón, al mismo tiempo se manifiesta también un cambio en la molécula de amilosa y amilopectina a estos cambios se le pueden cuantificar con el índice de absorción de agua como también con el índice de solubilidad del almidón en agua. El índice de absorción de agua disminuye cuando la temperatura aumenta, que probablemente se deba a la degradación del almidón (Pelembé et al., 2002).

El índice de solubilidad mide la cantidad de componentes solubles liberados del almidón después de la cocción y casi siempre se usa como un indicador de descomposición molecular. Si la cantidad del índice de solubilidad es alta, indica que es un indicador *in vitro* de buena digestibilidad del almidón puesto que implica el grado de gelatinización y dextrinización (Kirby et al., 1988; Guha et al., 1997).



## C. Poder de hinchamiento

El poder de hinchamiento tiene una reacción por la cantidad de amilopectina que contenga el almidón, se dice que es la cantidad de agua que absorbe el granulo de almidón a una temperatura determinada y a una cantidad de concentración de almidón, el valor de este índice se mide aprovechando la absorción del agua del almidón y la exudación de fracciones de almidón a medida que aumenta la temperatura (Waterschoot et al., 2015; Ahmed et al., 2012)

### 3.2. Marco conceptual

**Almidón.** Es un polisacárido ampliamente utilizado en la industria es considerado como una fuente de energía para muchos organismos, este representa un gran porcentaje en una inmensa variedad de productos como los cereales que contienen de un 30 hasta un 70 % (Espinosa, 2008).

**Almidón de quinua.** Está compuesto principalmente de almidón con un 70 % de materia seca, tienen gránulos de almidón diminutos tiene un porcentaje amilosa que varía de 3 a 22 % es un material semicristalino con alto índice de solubilidad en agua, alto poder de expansión.

**Amilosa.** Es uno de los polisacáridos que conforma el almidón, es producto de la condensación de D- glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1, 4 (Badui, 2016).

**Amilopectina.** Es el polisacárido más abundante en el almidón, contiene cadenas ramificadas a diferencia de la amilosa, donde las ramas están unidas por enlaces  $\alpha$ -1, 6 (Badui, 2016).

**Enzima.** Son proteínas que actúan como catalizadores en reacciones químicas (Babtie et al., 2010)

**Modificación enzimática.** Es un proceso en la cual la estructura del almidón se modifica rompiendo enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6 de las cadenas de amilosa y amilopectina (Punia et al., 2022).

**Colorimetría.** Es una técnica utilizada para caracterizar el color de una muestra, través de un sistema de coordenadas tridimensionales llamado CIEL\*a\*b\*, (Abbott, 1999; Pathere et al., 2013; Ferreira, 1994; McGuire, 1992) (Carreño et al., 1995; Lana et al., 2006; Mendoza et al., 2006).

**Actividad de agua.** Es un parámetro donde se mide la cantidad de agua libre y ligada que hay en un determinado alimento, este parámetro se encuentra de 0 a 1 (Cardona, 2019).

**Temperatura de gelatinización.** Es la temperatura en la cual el almidón cambia su estructura, percibiendo una formación de gel (Badui, 2016).

**Índice de solubilidad en agua.** Se utiliza como un indicador de descomposición molecular, si esta es alta indica que el almidón tiene una buena digestibilidad (Kirby et al., 1988; Guha et al., 1997).

**Índice de absorción de agua.** Es la unión de moléculas de agua a grupos hidrofílicos, resultando como la formación de un gel con una mayor viscosidad (Fiorda et al., 2013)

**Poder de hinchamiento.** Es la cantidad de agua que el granulo del almidón puede absorber a una temperatura fijada, se atribuye principalmente al contenido de amilopectina (Waterschoot et al., 2015; Ahmed et al., 2012).

**Tamaño de partícula por difracción laser.** Es una técnica utilizada para medir el tamaño de partículas en el almidón (Luxán y Frías, 1988).

**Potencial  $\zeta$ .** Es un parámetro clave que se puede utilizar para determinar y comparar la estabilidad relativa de diferentes tipos de producto (Banerjee, 2017).

**Propiedades físicas.** Son propiedades que no tienen cambios en las características químicas del almidón, donde no está involucrado la ruptura y creación de enlaces químicos (Charles et al., 2004).

**Propiedades químicas.** Tienen cambios debido a reacciones químicas, que implican la ruptura y creación de nuevos enlaces, como la hidrólisis, oxidación, esterificación, etc. (Charles et al., 2004).

**Propiedades tecnofuncionales.** Es toda propiedad no nutricional pero que desempeñan un papel muy importante en las tecnologías de procesamiento de alimentos, es una propiedad que contribuye en el desarrollo de nuevos productos alimenticios, tiene alguna relación con los caracteres sensoriales de un alimento como la textura, capacidad de retención de agua, solubilidad, propiedades emulsionantes y formación de gel, etc. (Shokri et al., 2022).

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en los Laboratorios de Investigación de Nanotecnología de Alimentos (LINA) y el Laboratorio de investigación en materiales para el tratamiento de agua y alimentos (LIMTAA) de la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA) ubicados en la Av. 28 de julio 1103 del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

### 4.2. Identificación de las variables

#### 4.2.1. Variables independientes y dependientes

##### a) Variables independientes

Factor de interés: almidón modificado al 0, 1, 2 % de enzima.

Factor de bloque: variedades de quinua.

##### b) Variables dependientes

Propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones de quinua modificado.

### 4.3. Materiales, instrumentos, equipos y reactivos

Los materiales, instrumentos y equipos que se utilizaron para llevar a cabo esta investigación se detallan de la siguiente manera:

#### 4.3.1. Materiales

Los materiales que se utilizaron en la presente investigación se detallan en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Materiales*

N°	Material	Cantidad
1	Vaso de precipitado de 100 mL	6 unidades
2	Vaso de precipitado de 500 mL	6 unidades
3	Vaso de precipitado de 1000 mL	6 unidades
4	Balde de 10 litros	2 unidades
5	Placa Petri	6 unidades
6	Viales	12 unidades

N°	Material	Cantidad
7	Baguete de vidrio	2 unidades
8	Tela filtro (muselina)	1 unidad
9	Pisetas	4 unidades
10	Guantes de nitrilo	1 unidad
11	Matraz cónico	4 unidades
12	Gradilla	3 unidades
13	Tubos falcón	18 unidades
14	Probeta	3 unidades
15	Placa Petri	18 unidades
16	Cucharas de acero	4 unidades

#### 4.3.2. Equipos e instrumentos

Los equipos e instrumentos que se utilizaron en la presente investigación se detallan en la Tabla 6.

**Tabla 6**

##### *Equipos e instrumentos*

N°	Equipos e instrumentos	Cantidad	Marca
1	Balanza analítica	1 unidad	PIONER (OHAUS)
2	Refrigeradora	1 unidad	LG
3	Agitadores magnéticos	4 unidades	CAT (M6)
4	Desecador	1 unidad	SPECAC
5	Colorímetro	1 unidad	Konica Minolta
6	Estufa de secado	1 unidad	Binder
7	FTIR	1 unidad	Thermo Fisher
8	Espectrofotómetro UV	1 unidad	Thermo scientific
9	Centrifuga refrigerada	1 unidad	Centurion
10	Tamaño de partícula	1 unidad	Mastersizer 3000 (Malvern Instruments, Worcestershire, Reino Unido)
11	Potencial $\zeta$	1 unidad	Zetasizer ZSU3100 (Malvern Instruments,

Worcestershire, Reino Unido)			
12	Vortex	1 unidad	ISOLAB
13	Medidor de actividad de agua	1 unidad	Determinador de actividad de agua Rotronic, modelo HygroPalm23-AW
14	Destilador	1 unidad	Reles
15	Tamiz	1 unidad	Retsch
16	Baño maría	1 unidad	Borosil Germany
17	Termómetro digital	4 unidades	ANGO

### 4.3.3. Reactivos

Los reactivos que se utilizaron en la presente investigación se detallan en la Tabla 7.

**Tabla 7**

#### *Reactivos*

N°	Reactivos	Cantidad
1	Hidróxido de sodio	50 gramos
2	Etanol de 96°	1 litro
3	Agua destilada	50 litros
4	Agua ultra pura	50 litros
5	Ácido cítrico	70 gramos
6	Enzima $\alpha$ -amilasa	15 gramos
7	Enzima $\alpha$ -amiloglusidasa	2 mililitros
8	Fosfato de hidrogeno disódico	50 gramos
9	Isopropanol	3 litros

## 4.4. Población y muestra

### 4.4.2. Población

La población fue el total de almidón modificado con enzima al 0, 1 y 2 %, de las variedades de quinua pasankalla roja y choclito.

#### **4.4.1. Muestra**

La muestra fue una porción del total de los almidones modificados al 0, 1 y 2 %, cabe resaltar que se realizó un muestreo no probabilístico, intencional o de juicio.

#### **4.4.2. Unidad de análisis**

Fueron las muestras de almidón modificado al 0, 1 y 2 %, para cada propiedad en estudio, cuyas cantidades utilizadas se detallan en los métodos de análisis.

#### **4.5. Tipo de investigación**

La presente investigación fue de tipo experimental, debido a que se manipuló la variable independiente que son las concentraciones de enzimas 0, 1 y 2 %, utilizados para realizar la modificación de almidones, con la finalidad de caracterizar las propiedades estudiadas de los almidones modificados.

Fue aplicada, porque se pretende generar conocimientos que sirvan como referencia para la obtención de estos almidones de quinua, como también de que este almidón modificado sea aplicado en la industria.

#### **4.6. Metodología experimental**

Se realizó la extracción de almidón y modificación enzimática siguiendo las metodologías que se describen a continuación.

#### **Descripción del diagrama de flujo para la extracción de almidón de quinua pasankalla roja y choclito.**

La extracción del almidón se realizó siguiendo la metodología propuesta por (Jan et al.,2017) con algunas modificaciones.

**Lavado I.** Se realizó un primer lavado con agua destilada para eliminar impurezas como cascarillas partículas extrañas que pudieran tener el grano de quinua con una relación de 1:5 (grano: agua).

**Remojo.** Se remojaron 900 gramos de quinua en relación 1:3 (grano: agua) por 12 horas, para ablandar el grano de quinua y facilitar la reducción de tamaño.

**Lavado II.** Se realizó con agua destilada para eliminar la cascara y las saponinas que aún siguen presentes en el grano y queden sin impurezas con una relación de 1:5 (grano: agua).

**Licuadao.** Para esta operación se utilizó una licuadora, para reducir el tamaño de la quinua.

**Filtrado.** Se realizó empleando un filtro de tela muselina para separar el almidón de la fibra con una relación de 1:6 (almidón: agua).

**Sedimentación.** Se dejó por 48 horas a 2 °C, pasado este tiempo el sobrenadante se desechó.

**Lavado III.** El sedimento restante se puso a la centrifuga en tubos falcón de 50 ml por 5 min a 3500 rpm, con una relación de 1:5 (almidón: agua) culminado ese tiempo se eliminó el sobrenadante, esta operación se repitió cuatro veces con la finalidad de obtener almidón libre de impurezas.

**Secado.** Se secó en una estufa a 40 °C por 24 horas.

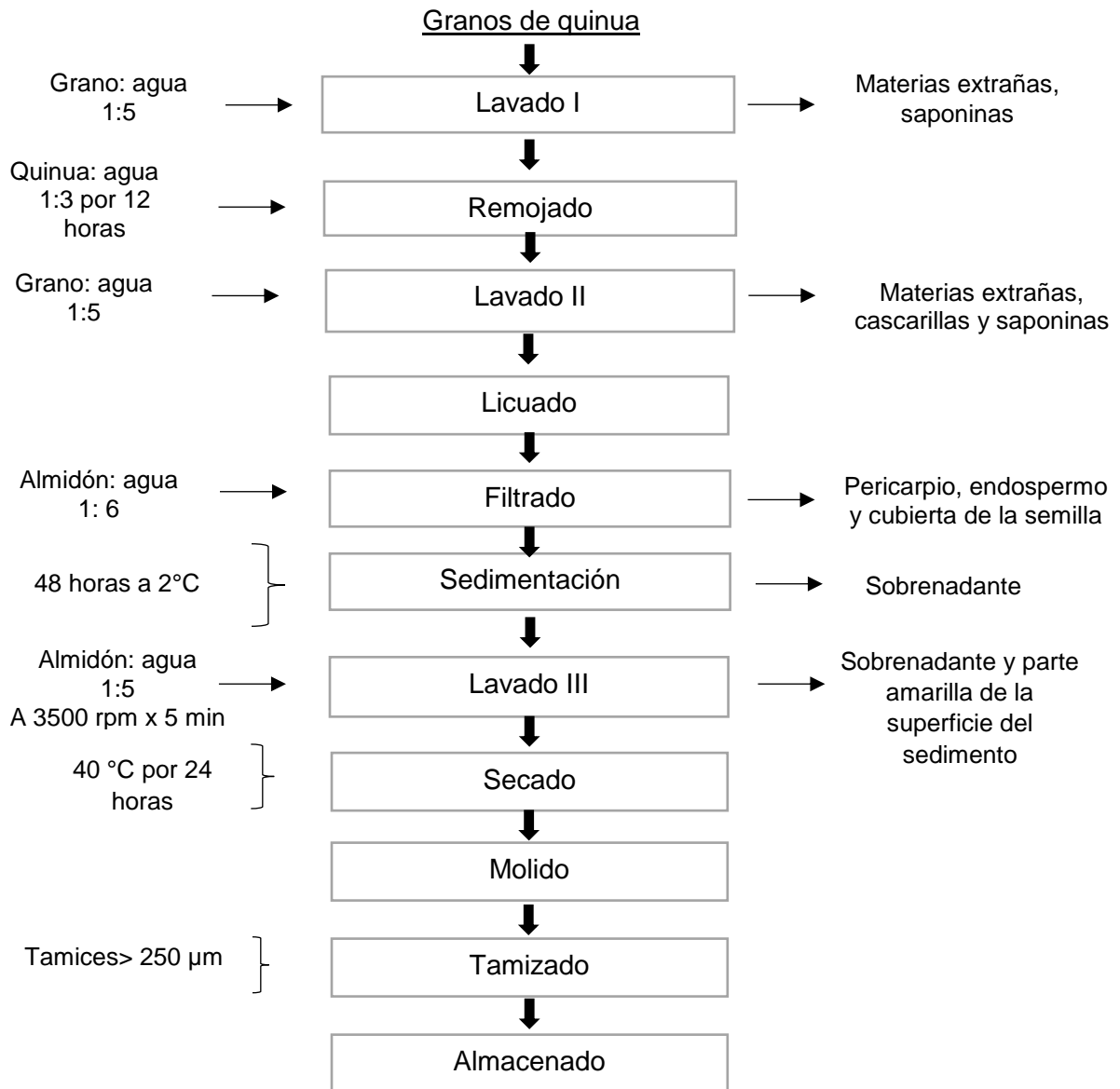
**Molienda.** Se utilizó morteros de ágata para pulverizar el almidón seco.

**Tamizado.** Se pasó por tamices menores de 250 micrómetros.

**Almacenado.** Se usó envases de polietileno para almacenar la muestra en un ambiente cerrado hasta ser utilizados en el proceso de modificación.

**Figura 4**

*Diagrama de flujo extracción de almidón de quinua.*



*Fuente:* (Jan et al.,2017) con algunas modificaciones.



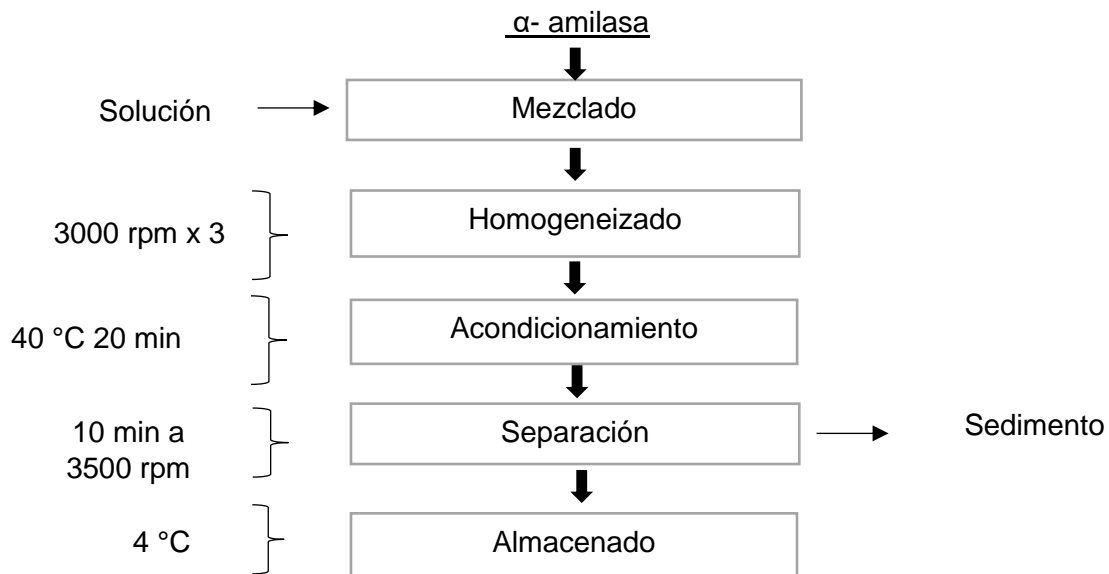
## Descripción del diagrama de flujo para la activación de la enzima $\alpha$ -amilasa

La activación de la enzima  $\alpha$ -amilasa se realizó siguiendo la metodología de Zhang et al. (2012) con algunas modificaciones como se muestra en la Figura 5.

Se mezcló 60 ml de solución tampón (de ácido cítrico al 0.1 M y fosfato de hidrogeno disódico 0.2 M) con 15 gramos de enzima  $\alpha$ -amilasa, seguidamente se realizó un agitado por 3 minutos a 3000 rpm. Se dejó a 40 °C por 20 minutos, pasado este tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente por 15 min, una vez enfriado se centrifugo por 10 minutos a 3500 rpm, finalmente se separó a otro tubo el sobrenadante y se eliminó el sedimento de la enzima, el sobrenadante se refrigeró a 4 °C hasta el momento de la utilización.

### Figura 5

*Diagrama de flujo activación de la enzima  $\alpha$ -amilasa.*



*Fuente:* Zhang et al. (2012) con algunas modificaciones.

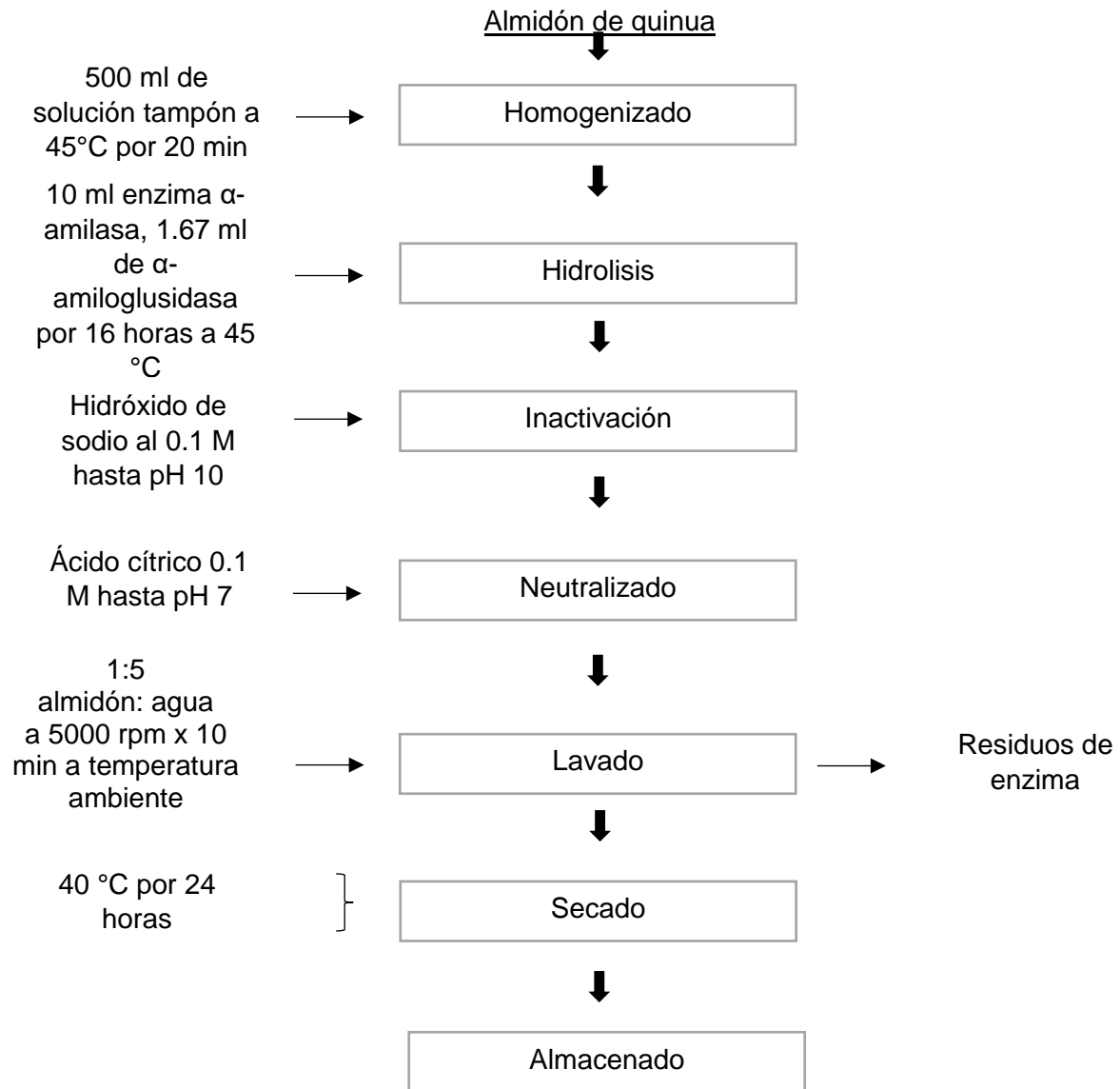
### **Descripción del diagrama de flujo para la modificación enzimática del almidón de quinua pasankalla roja y choclito.**

La modificación enzimática se muestra en la Figura 6, se realizó mediante la metodología propuesta por Zhang et al. (2012) con ligeras variaciones.

Se diluyó 100 gramos de almidón en solución tampón de ácido cítrico al 0.1 M y fosfato de hidrogeno disódico al 0.2 M a temperatura ambiente, una vez diluida se acondiciono a una temperatura de 45 °C seguidamente se adicionaron las enzimas con una relación 6:1 ( $\alpha$ -amilasa: amilogusidasa), se dejó hidrolizar por 16 horas a 45 °C. Para inactivar las enzimas se utilizó hidróxido de sodio al 0.1 M, ajustando el pH a 10. Para neutralizar el pH del almidón de quinua modificado se utilizó ácido cítrico al 0.1 M, luego se pasó a realizar los lavados con agua destilada en una relación 1:5 (almidón: agua), para eliminar todo residuo de enzima y obtener el almidón libre de impurezas después de modificar. Finalmente se secó en la estufa a una temperatura de 40°C por 24 horas y se almacenó en envases de polietileno a temperatura ambiente hasta el momento de la determinación de las propiedades descritas en los objetivos.

**Figura 6**

*Diagrama de flujo para la modificación enzimática al 2 % de enzima.*



*Fuente:* Zhang et al. (2012) con ligeras variaciones.

## 4.7. Métodos de análisis

Los métodos que se usaron para la presente investigación fueron útiles para lograr los objetivos planteados en la investigación.

### 4.7.1. Propiedades físicas

#### A. Color

Se determinó empleando el método de Ballester-Sánchez et al. (2019) para lo cual se utilizó un colorímetro digital previamente calibrado, las muestras se colocaron en una placa para su lectura, finalmente se tomaron los datos reportados en  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  y se determinó el índice de blancura utilizando la ecuación 1.

$$\text{Índice de blancura (\%)} = 100 - \sqrt{[(100 - L)^2 + a^2 + b^2]} \dots \dots \dots \text{Ec.1}$$

Donde:

$L^*$ = luminosidad

$a^*$ = croma  $a^*$  (variabilidad de rojo-verde)

$b^*$ = croma  $b^*$  (variabilidad de amarillo-azul)

#### B. Actividad de agua (aw)

Se determinó con el método empleado por Leyva, (2018) con algunas modificaciones para lo cual se utilizó determinador de actividad de agua Rotronic, modelo HygroPalm23-AW, colocando en una placa la muestra de almidón para seguidamente realizar la lectura.

#### C. Tamaño de partícula

Se midió por medio de difracción de la luz de un láser de helio-neón (He-Ne) a 600 nm en un Mastersizer 3000 (Malvern Instruments, Worcestershire, Reino Unido). Se dispersó 0.10 g de almidón en 250 ml de alcohol isopropílico, seguidamente se sonicaron por 30 segundos hasta alcanzar el oscurecimiento óptimo en el equipo. Se obtuvieron 5 resultados por cada muestra.

## **D. Potencial $\zeta$**

Se realizó en el equipo Zetasizer ZSU3100 (Malvern Instruments, Worcestershire, Reino Unido), equipado con un láser He-Ne a una longitud de onda de 632,8 nm. Se pesó 0.10 g de almidón para luego añadirlo en un tubo falcón con 50 ml de agua ultra pura seguidamente se pasó a agitar la muestra en un vortex a 3500 rpm. Una vez agitada se absorbe la muestra con una jeringa y se añadieron cuidadosamente a una celda capilar plegada desechable DTS1080. Las lecturas se midieron a 25 °C y se obtuvieron 3 resultados para cada muestra de almidón.

### **4.7.2. Propiedades químicas**

#### **A. Determinación de la amilosa y amilopectina**

Para la determinación del contenido de amilosa se llevó a cabo, por el método propuesto por Galicia et al. (2012), se realizó de la siguiente manera:

Se pesó 0.02 g de cada muestra de almidón de quinua pasankalla roja y choclito modificado enzimáticamente al 0, 1, 2%, se colocaron en tubos falcón de 50 mL. Seguidamente se agregó 0.2 ml de etanol al 95% haciendo que este caiga por las paredes de los tubos falcón con muestra de almidón, posteriormente se agregaron 1.8 ml de hidróxido de sodio al 1 M, luego se dejó reposar a temperatura ambiente por 24 horas sin agitar los tubos falcón, pasado este tiempo, se ajustó el volumen a 20 ml con agua ultra pura (18 ml) para luego ser agitadas rigurosamente en un vortex por 5 min a 3500 rpm.

Se dejó reposar y se continuo con la reacción colorimétrica hasta ver que la espuma disminuya, seguidamente se tomó 1 ml de la solución y se pasó a otro tubo falcón de 50 ml, para luego agregar 2 ml de ácido acético al 1 M y agitamos el tubo consecutivamente agregaremos 0.4 ml de Lugol y se ajustó el volumen a 20 ml (18.4 ml de agua ultra pura), luego se agito el tubo y se dejó formar el color por 20 min (proteger los viales de la luz) y finalmente se añadió las muestras a las cubetas y se colocaron al espectrofotómetro a 620 nanómetros.

Para el cálculo del porcentaje de amilosa se utilizó la ecuación de regresión, que estará en relación a la cantidad de amilosa en la solución estándar con la lectura de la absorbancia (Anexo 1).

La amilopectina será la diferencia del porcentaje de amilosa.

## **B. Identificación de grupos funcionales mediante el espectrofotómetro por transformada de Fourier.**

Se identificaron los grupos funcionales del almidón de quinua pasankalla roja y choclito modificados enzimáticamente, con el equipo espectrofotómetro por transformada de Fourier, de marca Thermo Fisher modelo Nicolet IS50, en modo de transmitancia en el rango de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ . Para lo cual se pesaron 0.2 gramos de muestra y 0.02 g de KB para realizar los pellets, se homogenizo en un mortero de ágata y seguidamente formar los pellets con una prensa manual. Una vez desarrollado los pellets se pasa a leer en transmitancia en un rango de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ .

### **4.7.3. Propiedades tecnofuncionales**

#### **A. Temperatura de gelatinización**

Se siguió la metodología descrita por Grace, (1997). Se pesó 10 g de almidón de quinua para luego ser adicionada a un frasco volumétrico y disolverlas con agua destilada hasta a 100 ml, posteriormente se tomarán 50 ml de la mezcla inicial y se pasara a un vaso de precipitado de 100 ml y finalmente se calentara en el baño maría a una temperatura de 85°C, se removerá la mezcla de almidón y agua destilada constantemente hasta ver una formación de pasta conjuntamente con una temperatura constante, determinando la temperatura de gelatinización directamente del termómetro.

#### **B. Poder de hinchamiento, solubilidad y capacidad de absorción de agua**

Se determinó mediante el método empleado por Gani et al., 2014 con algunas modificaciones.

Se inició pesando 0.6 gramos ( $M_0$ ) de almidón choclito y pasankalla roja modificado al 0, 1, 2% de enzima en un tubo falcón, para luego ser mezclado con 30 ml de agua destilada y agitado con un vortex a 3000 rpm hasta diluir el almidón, seguidamente se colocó en baño maría por 30 minutos a 50, 60, 70, 80, 90 °C, se enfrió la muestra a temperatura ambiente y se centrifugo a 5000 rpm por 30 min. El sobrenadante se retiró cuidadosamente y el sedimento del almidón hinchado se pesó ( $M_1$ ). El sobrenadante se coloca en placas Petri, seguidamente se puso a la estufa a 90 °C por 24 horas ( $M_2$ ). El poder de hinchamiento, solubilidad y la capacidad de absorción de agua se determinó mediante la siguiente ecuación.

$$PH = \frac{M_1 \text{ gel (g)}}{(M_0 \text{ almidon} - M_2 \text{ sobrenadante seco (g)})}$$

$$S(\%) = \frac{M_2 \text{ sobrenadante seco (g)}}{M_0 \text{ almidon(g)}} \times 100$$

$$CAA = \frac{M_1 \text{ gel (g)}}{M_0 \text{ almidon(g)}}$$

#### 4.8. Diseño experimental (variable y pruebas estadísticas).

El diseño experimental para el presente estudio fue el diseño de bloques completos al azar, este tipo de diseño cuenta con tres fuentes de variabilidad, debido al factor de interés (almidón modificado al 0, 1 y 2% de enzima), factor de bloque (variedad de quinua), se realizó un análisis de varianza para el factor de interés y bloque. En la Tabla 8 se muestra la matriz de diseño.

**Tabla 8**

*Tratamientos para DBCA*

F. Bloque variedad	F. Interés								
	(0% enzima)			(1% de enzima)			(2% de enzima)		
AQPR	PF	PQ	PT	PF	PQ	PT	PF	PQ	PT
	(1,1) 1	(1,1) 1	(1,1) 1	(1,2)1	(1,2)1	(1,2)1	(1,3)1	(1,3)1	(1,3)1
	PF	PQ	PT	PF	PQ	PT	PF	PQ	PT
	(1,1) 2	(1,1) 2	(1,1) 2	(1,2)2	(1,2)2	(1,2)2	(1,3)2	(1,3)2	(1,3)2
	PF	PQ	PT	PF	PQ	PT	PF	PQ	PT
	(1,1) 3	(1,1) 3	(1,1) 3	(1,2)3	(1,2)3	(1,2)3	(1,3)3	(1,3)3	(1,3)3
AQCH	PF	PQ	PT	PF	PQ	PT	PF	PQ	PT
	(2,1) 1	(2,1) 1	(2,1) 1	(2,2)1	(2,2)1	(2,2)1	(2,3)1	(2,3)1	(2,3)1
	PF	PQ	PT	PF	PQ	PT	PF	PQ	PT
	(2,1) 2	(2,1) 2	(2,1) 2	(2,2)2	(2,2)2	(2,2)2	(2,3)2	(2,3)2	(2,3)2
	PF	PQ	PT	PF	PQ	PT	PF	PQ	PT
	(2,1) 3	(2,1) 3	(2,1) 3	(2,2)3	(2,2)3	(2,2)3	(2,3)3	(2,3)3	(2,3)3

*Nota:* la matriz de diseño fue realizada por Gutiérrez y de la Vara, (2008) con algunas modificaciones, F: factor, PF: propiedades físicas, PQ: propiedades químicas, PT: propiedades tecnofuncionales.

Donde: los factores de bloque son las variedades de quinua (Pasankalla roja y Choclito) los factores de interés son los porcentajes de enzima al 0,1, 2 %, las variables de respuesta a son las propiedades químicas, físicas y tecnofuncionales, donde cada variedad es analizada con

cada una de las concentraciones de enzimas, atribuyendo las mismas condiciones para todos los tiramientos como se muestra en la Tabla 8.

### **Pruebas estadísticas**

Se realizó un análisis de varianza ANOVA en el Statgraphics, con un nivel de significancia del 5%, donde se probó las siguientes hipótesis.

#### **Factor de interés**

$H_0$ : Las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidón modificado no muestran diferencias significativas.

$H_A$ : Las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales del almidón modificado muestran diferencias significativas.

#### **Hipótesis para el factor de bloque**

$H_0$ : las variedades de quinua no muestran diferencias significativas.

$H_A$ : las variedades de quinua muestran diferencias significativas.

Donde el criterio para aceptar la hipótesis nula será verificar, si el valor- $p > 0.05$  con una prueba de rangos múltiples LSD donde se indicará que los almidones modificados al 0, 1 y 2 % no muestran diferencias significativas en las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales en el que se realizó una. En caso de rechazar la hipótesis nula, se tomará la hipótesis alterna donde esto indicará que los almidones modificados al 0, 1 y 2 % presentan diferencias significativas.

Se realizó la prueba Dunnett para comparar la modificación enzimática con respecto al control (0%) y observar la diferencia significativa en cada variedad, con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , esta prueba se realizó a través del estadístico Minitab donde se probó las siguientes hipótesis.

$H_0$ : todas las medias con respecto al control son iguales.

$H_A$ : no todas las medias con respecto al control son iguales.



## CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1. Resultados de las propiedades físicas

#### 5.1.1. Color

Los resultados del color se muestran en la Tabla 9, donde se aprecia diferencia significativa para la concentración de enzima y variedad (valor-  $p < 0.05$  - Anexo 2), los valores de Luminosidad oscilaron entre 92.56 a 93.57 presentando cercanía a blanco (100), además el tratamiento de modificación al 1% de la variedad AQCH presentó el valor más alto. Respecto al croma  $a^*$  los niveles oscilaron entre -0.12 a 0.32 con ligera tendencia a rojo y verde; el croma  $b^*$  osciló entre 1.59 a 2.03, con ligera tendencia a amarillo en ambas variedades, el valor más alto para el croma  $a^*$  fue AQCH al 2% de enzima, mientras que para el croma  $b^*$  el valor más alto fue 2.02 en AQPR.

**Tabla 9**

*Color  $L^*$   $a^*$   $b^*$*

Variedad	% Enzima	$L^*$				$a^*$				$b^*$				Dunnnett		
		$\bar{x}$	$\pm$	$s$	CV(%)	$\bar{x}$	$\pm$	$s$	CV(%)	$\bar{x}$	$\pm$	$s$	CV(%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
AQPR	0	92.56	$\pm$	0.09	0.09	0.05	$\pm$	0.01	2.98	1.71	$\pm$	0.05	2.95	A	A	A
	1	93.19	$\pm$	0.13	0.14	0.24	$\pm$	0.01	4.17	1.75	$\pm$	0.05	2.63	-	-	A
	2	93.28	$\pm$	0.06	0.06	0.35	$\pm$	0.03	3.33	2.03	$\pm$	0.14	0.75	-	-	-
AQCH	0	93.30	$\pm$	0.03	0.04	-0.23	$\pm$	0.02	-6.55	1.68	$\pm$	0.21	2.98	B	B	B
	1	93.57	$\pm$	0.38	0.41	-0.12	$\pm$	0.01	-4.68	1.59	$\pm$	0.14	3.22	B	-	B
	2	93.28	$\pm$	0.06	0.06	0.32	$\pm$	0.03	4.72	1.72	$\pm$	0.31	2.33	B	-	B

Nota: donde  $\bar{x}$ : promedio muestral,  $s$ : desviación estándar muestral, CV: coeficiente de variabilidad, AQPR: almidón de quinua Pasankalla roja, AQCH: almidón de quinua chochito,  $L^*$ : luminosidad (blanco: 100; negro: 0), croma  $a^*$ : positivo: rojo; negativo: verde, croma  $b^*$ : positivo: amarillo; negativo: verde, Dunnnett: las medias no etiquetadas con las letras son significativamente diferentes de la media del nivel de control (0%).

Resultados similares fueron reportados por Boudries et al. (2009) para la luminosidad (91.06 a 92.91) en almidón de sorgo, del mismo modo, Pérez y Lares, (2004) reportaron una luminosidad de 91.3 en almidón de sorgo, mientras que Araujo et al. (2010), mostraron valores de luminosidad de 92.86 en almidón de quinua. De este modo, se contrasta que los valores obtenidos en la presente investigación se encuentran dentro de los rangos reportados por los autores mencionados, cabe señalar que los almidones modificados al 1 y 2% de enzima en AQPR y al 1% en AQCH, obtuvieron resultados significativamente mayores a diferencia de los nativos, debido a que se realizaron más lavados después de ser hidrolizados con la finalidad de eliminar residuos de enzima y fibra que no se eliminaron completamente en el proceso de extracción de almidón; Jan et al. (2017) mencionan que, en el proceso de lavado del almidón, la luminosidad incrementa porque se eliminan los compuestos orgánicos solubles en agua que ocasionan una luminosidad baja.

Por otro lado, Boudries et al. (2009) reportaron valores menores para croma a\* que oscilaron entre -0.26 a -0.48 que son lejanos a los reportados y croma b\* (3.58 a 4.15) que son mayores a los reportados; Maza, (2020) reportó valores cercanos en cuanto al croma a\* que varió de 0.00 a 0.17 y croma b\* de 1.05 a 1.56, que tienen relación con la presente investigación; es así que Jan et al. (2017), afirmaron que las ligeras diferencias en el color pueden deberse a la presencia de pigmentos de carotenos presentes en los gránulos de almidón de quinua.

### Índice de blancura

Los valores reportados para el índice de blancura se muestran en la Tabla 10, donde se observa que hay diferencias significativas para las diferentes concentraciones de enzima y ambas variedades (valor-  $p < 0.05$  – Anexo 3), cuyos valores se encontraron entre 92.37 a 92.97% para la variedad AQPR, mientras que para la variedad AQCH osciló entre 93.05 a 93.37%, además el tratamiento de modificación al 1% de la variedad AQCH presento el valor más alto. Se observó que las medias al 1 y 2 % de enzima tienen diferencia significativa con respecto al con control en AQPR, mientras que en AQCH no existe diferencia significativa.

**Tabla 10**

*Índice de blancura (%)*

Variedad	% enzima	$\bar{x}$	$\pm$	s	CV(%)	Dunnett
AQPR	0	92.37	$\pm$	0.08	0.09	A
	1	92.96	$\pm$	0.12	0.13	-
	2	92.97	$\pm$	0.05	0.05	-
AQCH	0	93.09	$\pm$	0.02	0.03	B
	1	93.37	$\pm$	0.36	0.39	B
	2	93.05	$\pm$	0.06	0.07	B

Nota: donde  $\bar{X}$ : promedio muestral, S: desviación estándar muestral, CV: coeficiente de variabilidad, AQPR: almidón de quinua Pasankalla roja, AQCH: almidón de quinua choclito, Dunnett: las medias no etiquetadas con las letras son significativamente diferentes de la media del nivel de control (0%).

Resultados similares presentaron Ballester-Sánchez et al. (2019) en almidón de quinua cuyo valor fue de 91.8%, Jan et al. (2015), mostraron valores que oscilaron de 94.14 a 94.61% en diferentes variedades de *Chenopodium álbum*, en el presente estudio se tuvo reportes similares con una tendencia cercana a blanco (100%), por otro lado, Wang et al. (2022) y Calle et al (2021) mencionan que los pigmentos naturales de la quinua y la composición proximal del almidón afectan el índice de blancura, en la presente investigación se observa que la variedad de quinua pasankalla roja fue significativamente menor a la variedad choclito, esta variación es atribuida a la coloración natural de la quinua pasankalla roja, finalmente Boudries et al. (2009) mencionaron que el índice de blancura es una medida de amplio uso en la industria de textil, papel, medicamentos, plásticos, cerámicos y en la producción de alimentos.

### 5.1.2. Actividad de agua

Los resultados para actividad de agua se muestran en la Tabla 11, donde se aprecia que existe diferencia significativa entre la concentración de enzima y variedad (valor-  $p < 0.05$ - Anexo 4), los valores oscilaron entre 0.372 a 0.496 en AQPR, por otra parte, AQCH presentó valores en el rango de 0.379 a 0.507, los niveles más bajos de actividad de agua se dieron para AQPR al 0% de enzima y AQCH al 1 % de modificación enzimática, lo cual garantiza el almacenamiento de estos productos durante un periodo de tiempo prolongado.

**Tabla 11**

*Actividad de agua*

Variedad	% enzima	$\bar{x}$	$\pm$	s	CV(%)	Dunnett
AQPR	0	0.372	$\pm$	0.001	0.155	A
	1	0.397	$\pm$	0.002	0.524	-
	2	0.496	$\pm$	0.001	0.233	-
AQCH	0	0.494	$\pm$	0.003	0.584	B
	1	0.379	$\pm$	0.002	0.549	-
	2	0.507	$\pm$	0.004	0.711	-

Nota: donde  $\bar{x}$ : promedio muestral, s: desviación estándar muestral, CV: coeficiente de variabilidad, AQPR: almidón de quinua Pasankalla roja, AQCH: almidón de quinua choclito, Dunnett: las medias no etiquetadas con las letras son significativamente diferentes de la media del nivel de control (0%).

Almeida et al. (2019) reportaron datos similares de actividad de agua en almidones de arroz sin modificar y modificados con enzimas, cuyos valores oscilaron de 0.361 a 0.397 y Leyva, (2018) obtuvo valores que variaron de 0.231 a 0.310 en el almidón de arroz modificado enzimáticamente. Por otra parte, Oliva et al. (2018) evidenciaron valores de actividad de agua para almidón de quinua de 0.706, que son mayores a los obtenidos en el presente proyecto de investigación, el cual estaría relacionado a las moléculas de agua que penetran en los poros recién creados por la hidrólisis y quedan atrapadas en los espacios vacíos del almidón (Lasekan, 2000).

Por otro lado Li et al. (2016), señalan que la actividad de agua desempeña un papel muy importante en la hidrólisis, ya que la velocidad de reacción enzimática aumenta con el incremento de la actividad de agua, este comportamiento está relacionado con la movilidad de la enzima es decir que la movilidad de las enzimas incrementa a medida que incrementa la actividad de agua, esta información se puede contrastar con los resultados obtenidos, como se puede ver la actividad de agua se incrementa a concentraciones de 1 y 2 % de enzima para ambas variedades, esto debido a la velocidad de reacción enzimática. Sin embargo, la actividad de agua de estos almidones de quinua está por debajo de 0.6, que asegura la estabilidad microbiológica

y tiene una menor susceptibilidad ante cambios químicos y enzimáticos durante el almacenamiento (Labuza y Altunakar, 2007)

### 5.1.3. Tamaño de partícula

Todos los resultados del tamaño de partícula se muestran en la Tabla 12, los cuales muestran diferencia significativa en las concentraciones de enzima y variedad (valor-  $p < 0.05$ - Anexo 5), el tamaño de partícula para AQPR muestra que hay partículas que oscilaron de 17.28 a 21.78  $\mu\text{m}$ , el menor tamaño fue atribuido para el 0% de enzima; AQCH osciló de 9.63 a 16.66  $\mu\text{m}$  el tamaño menor fue para la concentración del 0 % de enzima, se observa que después de la modificación enzimática el tamaño de partícula incrementa al 1 y 2 % de enzima en ambas variedades.

**Tabla 12**

*Tamaño de partícula ( $\mu\text{m}$ )*

Variedad	% enzima	$\bar{x}$	$\pm$	$s$	$CV(\%)$	Dunnett
AQPR	0	17.28	$\pm$	0.36	2.06	A
	1	17.42	$\pm$	0.18	1.64	A
	2	21.78	$\pm$	0.16	0.75	-
AQCH	0	9.63	$\pm$	0.22	2.24	B
	1	13.43	$\pm$	9.11	4.60	-
	2	16.66	$\pm$	0.13	0.81	-

Nota: donde  $\bar{x}$ : promedio muestral,  $s$ : desviación estándar muestral,  $CV$ : coeficiente de variabilidad, AQPR: almidón de quinua Pasankalla roja, AQCH: almidón de quinua choclito,  $\mu\text{m}$ : micrómetro, Dunnett: las medias no etiquetadas con las letras son significativamente diferentes de la media del nivel de control (0%).

Jiang et al. (2017), Presentaron tamaño de partículas similares que variaron entre 1.17 a 18.39  $\mu\text{m}$  en almidón de arroz modificado enzimáticamente, así mismo Leyva, (2018) presentó tamaños de partícula que oscilaron de 14.72 a 15.83  $\mu\text{m}$  en almidón de maíz modificado enzimáticamente estos resultados se encuentran dentro de los rangos reportados en la presente investigación, por otro lado Zhang et al. (2021) mostró tamaños de partícula más pequeños al añadir cantidades superiores al 2% de enzima acompañada de una modificación física, menciona que al hacer una modificación combinada de física y enzimática se obtienen mejores resultados ya que la reducción del tamaño de partícula es mucho mejor, en la presente investigación las partículas de almidón incrementaron su tamaño por lo que no es recomendable utilizar la modificación enzimática para reducir el tamaño. Sin embargo, los tamaños de partículas obtenidos son pequeños a diferencia del almidón de papa que se encuentra en un rango de 10 a 100  $\mu\text{m}$ , el tamaño de partícula del almidón de quinua al ser pequeños da una textura lisa y una sensación de suavidad, este atributo le pareció muy interesante especialmente a las industrias de alimentos, papel y cosméticos (Garzón, 2019 y Bernal et al., 2017).

### 5.1.4. Potencial $\zeta$

Los resultados de Potencial  $\zeta$  se muestran en la Tabla 13, los cuales muestran diferencia significativa en cuanto a las concentraciones de enzima y variedad (valor-  $p < 0.05$ - Anexo 6), por otro lado las variedades no presentan diferencias significativas (valor-  $p > 0.05$ - Anexo 6), los valores para AQPR al 0, 1 y 2 % fueron de -26.41 mV (ligera estabilidad), -43.70 mV (buena estabilidad) y -49.52 mV (buena estabilidad) respectivamente; mientras que para AQCH fue de -29.61 mV (ligera estabilidad), -43.71 mV (buena estabilidad) y -46.98 mV (buena estabilidad). Observando los resultados podemos apreciar que existe una relación directamente proporcional en vista de que al incrementar la concentración de enzima disminuye el valor del potencial  $\zeta$ .

**Tabla 13**

*Potencial  $\zeta$  (mV)*

Variedad	% enzima	$\bar{x}$	$\pm$	<i>s</i>	<i>CV</i> (%)	Dunnett
AQPR	0	-26.41	$\pm$	1.39	-5.26	A
	1	-43.70	$\pm$	1.19	-2.73	-
	2	-49.52	$\pm$	1.87	-3.78	-
AQCH	0	-29.61	$\pm$	1.49	-5.03	B
	1	-43.71	$\pm$	0.48	-1.10	-
	2	-46.98	$\pm$	0.34	-0.72	-

Nota: donde  $\bar{x}$ : promedio muestral, *s*: desviación estándar muestral, *CV*: coeficiente de variabilidad, AQPR: almidón de quinua Pasankalla roja, AQCH: almidón de quinua choclito, mV: milivoltio,  $\mu$ m: micrómetro, Dunnett: las medias no etiquetadas con las letras son significativamente diferentes de la media del nivel de control (0%).

Zhang et al. (2021), reportaron resultados similares para potencial  $\zeta$ , para 0, 3, 6 y 9 horas de hidrolisis que fue de -21.1, -34.6, -35.9 y -35.8 mV respectivamente; mientras más tiempo de hidrolisis tiende a disminuir el valor del potencial  $\zeta$ , esto se confirma en la presente investigación ya que se hidrolizó a un tiempo mayor (16h) obteniendo valores mucho menores para el potencial  $\zeta$ . Por otra parte, Zhang et al. (2022), obtuvieron valores para almidón de quinua nativo y modificado a concentraciones de 0, 0.6, 1.2, 1.8 y 2.4 % de enzimas, mostrando datos de -21.13, -30.80, -32.87, -34.80 y -33.37 mV respectivamente, podemos observar que al aumentar la concentración de enzimas hasta un 2% el potencial  $\zeta$  disminuye, la misma tendencia se obtuvo en la presente investigación donde los almidones modificados con enzima al 2% presentaron valores mucho menores de potencial  $\zeta$ . Cabe mencionar que Lacerda et al. (2018) señalan que el valor del potencial  $\zeta$  dependen del tipo de almidón y las condiciones de procesamiento. Los resultados obtenidos demuestran que los almidones de quinua modificados enzimáticamente tienen una buena estabilidad, pueden ser utilizados en las industrias alimentarias y no alimentarias como estabilizantes por su bajo valor.

## 5.2. Resultados de las propiedades químicas

### 5.2.1. Amilosa y amilopectina

Los resultados de amilosa y amilopectina se muestran en la Tabla 14 donde se aprecia que la concentración de enzima no mostró diferencia significativa (valor-p >0.05 - Anexo 7), en cuanto a las variedades si muestran diferencia significativa (valor-p <0.05 - Anexo 7) el contenido amilosa para AQPR osciló de 20 a 21% y AQCH varió de 27 a 30% mostrando una disminución significativa al aumentar la concentración de enzima. En cuanto al contenido de amilopectina en AQPR varió de 79 a 80%, en cambio AQCH presentó valores que variaron entre 70 a 73% de amilopectina. También se puede apreciar que existe diferencia entre las dos variedades con respecto al contenido de amilosa y amilopectina.

**Tabla 14**

*Amilosa y Amilopectina (%)*

Variedad	%enzima	% Amilosa					% Amilopectina				
		$\bar{x}$	$\pm$	<i>s</i>	CV(%)	Dunnnett	$\bar{x}$	$\pm$	<i>s</i>	CV(%)	Dunnnett
AQPR	0	20	$\pm$	0.0007	0.35	A	80	$\pm$	0.0007	0.09	A
	1	20	$\pm$	0.0014	0.7	A	80	$\pm$	0.0014	0.18	A
	2	21	$\pm$	0.0007	0.33	-	79	$\pm$	0.0007	0.09	-
AQCH	0	30	$\pm$	0.0007	0.24	B	70	$\pm$	0.0007	0.10	B
	1	29	$\pm$	0.0001	0.37	-	71	$\pm$	0.0011	0.15	-
	2	27	$\pm$	0.0004	0.15	-	73	$\pm$	0.0004	0.06	-

Nota: donde  $\bar{x}$ : promedio muestral, *s*: desviación estándar muestral, CV: coeficiente de variabilidad, AQPR: almidón de quinua Pasankalla roja, AQCH: almidón de quinua choclito, Dunnnett: las medias no etiquetadas con las letras son significativamente diferentes de la media del nivel de control (0%).

Ballester- Sánchez et al. (2019), mostraron valores similares en cuanto al porcentaje de amilosa y amilopectina en almidón de quinua nativa, cuyo contenido fue 22.94 % y 77 % respectivamente; del mismo modo Wright et al. (2002), evidenciaron 21.2 % de amilosa y 79 % de amilopectina en almidón de quinua nativa, al igual que Li et al. (2016) obtuvieron resultados que oscilaron de 19.6 a 25.7 % de amilosa y de 74 a 80 % de amilopectina en diferentes variedades de quinua; los cuales se encuentran cercanos y dentro de los valores reportados en la presente investigación, por otro lado se puede ver que los valores de amilosa y amilopectina entre almidón nativo y modificado al 1 y 2 % de enzima no fueron significativamente diferentes en AQPR mientras que en AQCH mostro una ligera disminución en el contenido de amilosa al 1 y 2 % de enzima; por lo que, Man et al. (2013) señala que durante la hidrolisis la enzima degradó mínimamente la estructura externa del almidón motivo por el cual el contenido de amilosa no tuvo cambios significativos en el caso de AQPR, mientras que para AQCH mostro una ligera disminución por

la acción enzimática lo que podría deberse a que la enzima provoco alteraciones en la superficie, degradando la parte externa del granulo debilitando más profundamente esta capa, por lo que muestra una disminución mínima en el porcentaje de amilosa.

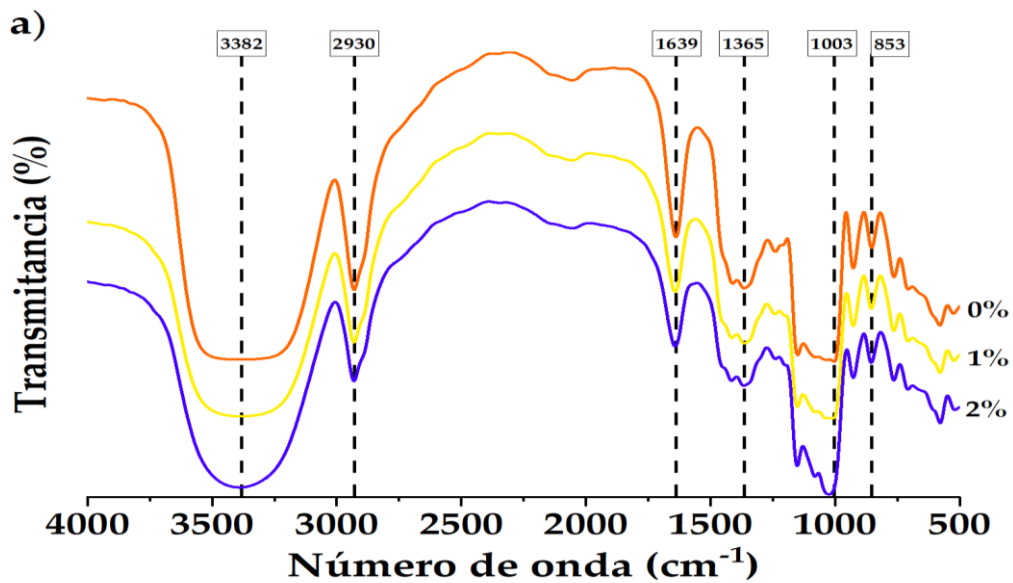
Por otra parte, Wright et al. (2002) y Jan et al., (2017) mencionan que el origen botánico, periodo de cosecha y las condiciones climáticas influyen en el contenido de amilosa de los almidones, esto se corrobora en la presente investigación donde se observa que hay diferencia significativa entre las cantidades de amilosa y amilopectina entre las dos variedades. Por otro lado, Yaruro, (2018) afirma que los métodos analíticos para la cuantificación de amilosa influyen en el contenido, siendo un concepto confirmado también por Lindeboom et al. (2005), quienes pudieron encontrar diferencias significativas al usar dos metodologías distintas.

### **5.2.2. Grupos funcionales**

En la Figura 7 y 8, se visualizó picos desde 3382 a 853  $\text{cm}^{-1}$  y 3416 a 854  $\text{cm}^{-1}$ , los espectros fueron similares para los diferentes porcentajes de enzima. En el pico 3382  $\text{cm}^{-1}$  se identificó al grupo hidroxilo (OH), característico de un almidón, el pico 2930  $\text{cm}^{-1}$  está referido al estiramiento asimétrico del metileno ( $\text{CH}_2$ ) en la estructura de estos polisacáridos, además de ello hace referencia al incremento de hidrofobicidad, el pico 1639  $\text{cm}^{-1}$  está relacionada con vibraciones en el grupo hidroxilo, teniendo la presencia de agua unida en los almidones, 1365 y 1368  $\text{cm}^{-1}$  da referencia a la presencia de proteínas hidrosolubles en los almidones, por otro lado desde el pico 1700 a 1000  $\text{cm}^{-1}$ , se observó picos intensos para almidón sin modificar y para los almidones modificados se observó picos menos intensos y bandas más anchas, que estaría relacionado a la modificación enzimática.

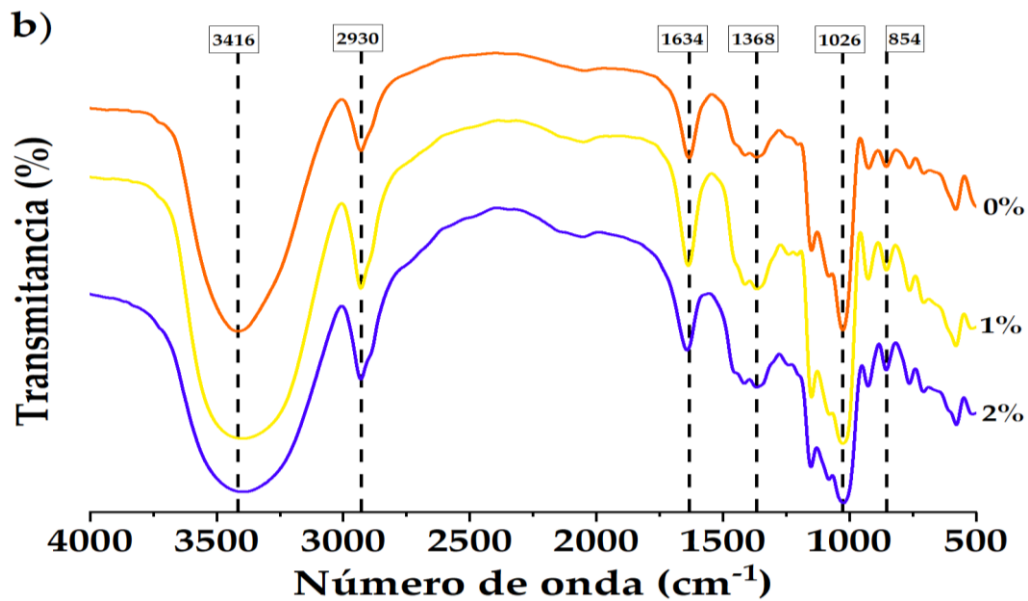
**Figura 7**

*Espectros IR de almidón de quinua Choclito (a)*



**Figura 8**

*Espectros IR de almidón de quinua pasankalla roja (b)*



Del mismo modo Velásquez et al. (2021), mencionan que en los picos de 3300- 3900  $\text{cm}^{-1}$  en almidón de quinua y kiwicha, tiene relación con la presencia de grupos hidroxilo (OH), al igual que Jan et al. (2017), observaron que entre las bandas anchas de 3300 a 3500  $\text{cm}^{-1}$  es atribuida al estiramiento (OH), Davoudi et al. (2022), encontraron que en el pico de 2927-2929  $\text{cm}^{-1}$



pertenecen estiramiento del CH<sub>2</sub> que se encuentran presentes en el grupo metileno de los polisacáridos, así mismo Almeida et al. (2019) mencionan que en el pico 2930 cm<sup>-1</sup> se atribuyen al estiramiento en glucosa cuya estructura está conformado por CH<sub>2</sub>.

Por otro lado, Almeida et al. (2019), evidenciaron intensidades en el pico 1640 cm<sup>-1</sup>, dando referencia al estiramiento y deformación de los grupos hidroxilo en la glucosa y agua residual que se encuentra fuertemente unida, del mismo modo Velásquez et al. (2021), habla sobre los picos 1641 y 1647 cm<sup>-1</sup>, están relacionados a la presencia de agua unida o absorbida, también pueden atribuirse a vibraciones de flexión H-O-H. Chi et al. (2008), menciona que en el pico 1375 cm<sup>-1</sup>, está relacionado con la vibración de deformación antisimétrica de CH<sub>3</sub>. Gani et al. (2016), evidenciaron que el pico 1022 cm<sup>-1</sup>, se caracteriza por tener regiones amorfas, por su parte Davoudi et al. (2022), menciona que en las bandas de 1022/995 se relacionaron con las propiedades estructurales de las regiones amorfas y los enlaces de hidrogeno de los grupos hidroxilo, hace mención también que entre el rango de picos mencionados observaron picos más intensos donde realizaron una comparación entre muestras de almidones modificados y sin modificar revelando en esos picos la interferencia en el orden de la estructura de doble hélice y afirman que la región amorfa está influenciado por la hidrolisis enzimática.

Por otra parte, Almeida et al. (2019), hace mención que en el pico de 1000 cm<sup>-1</sup>, se encuentran las bandas de amilosa y amilopectina, es la región donde se observa la diferencia de intensidades de pico entre almidones modificados y sin modificar, se atribuye a la pérdida de moléculas hidrolizadas debido a la modificación enzimática. Ahmed et al. (2018), mostro que en los picos de 1013 cm<sup>-1</sup> existen (enlace H del grupo OH) y 844 cm<sup>-1</sup> (deformación del CH<sub>2</sub>), así mismo Davoudi et al. (2022) relaciona que entre los picos de 800 a 1200 cm<sup>-1</sup>, es aplicada de manera general para el análisis de la estructura cristalina de la estructura de la doble hélice del almidón. Como se pudo comparar los resultados obtenidos con los autores antes mencionados se observa que existe una correlación con el presente trabajo de investigación.

### **5.3. Resultados de las propiedades tecnofuncionales**

#### **5.3.1. Temperatura de gelatinización**

Los resultados de la temperatura de gelatinización se muestran en la Tabla 15, los cuales muestran diferencia significativa en cuanto al porcentaje de enzima y variedades (valor-p < 0.05- Anexo 8). Donde AQPR obtuvo la temperatura de gelatinización más alta de 55.65 °C al 1 % de enzima y AQCH fue de 60.19 °C al 2 % de enzima, en ambas variedades se pudo ver que la temperatura de gelatinización tuvo un mínimo incremento con respecto al porcentaje de enzima.

**Tabla 15***Temperatura de gelatinización (°C)*

Variedad	%enzima	$\bar{x}$	$\pm$	<i>s</i>	CV(%)	Dunnett
AQPR	0	52.68	$\pm$	0.16	0.31	A
	1	55.65	$\pm$	0.13	0.23	-
	2	55.57	$\pm$	0.04	0.08	-
AQCH	0	58.52	$\pm$	0.07	0.12	B
	1	60.17	$\pm$	0.07	0.12	-
	2	60.19	$\pm$	0.06	0.1	-

Nota: donde  $\bar{x}$ : promedio muestral, *s*: desviación estándar muestral, **CV**: coeficiente de variabilidad, AQPR: almidón de quinua Pasankalla roja, AQCH: almidón de quinua choclito, Dunnett: las medias no etiquetadas con las letras son significativamente diferentes de la media del nivel de control (0%).

Similares resultados mostraron Li et al. (2016) que oscilaron de 56.2 a 65 °C en 26 muestras de almidón de quinua, del mismo modo, Jan et al. (2017) mostró resultados que oscilaron de 62.7 a 72.85 °C en almidones nativo de quinua, Maza, (2020), reporto temperaturas de gelatinización de 56.01 a 58.13 °C en diferentes variedades de quinua, por otra parte, Lacerda et al. (2019) obtuvo temperaturas de gelatinización para almidón nativo y modificado con enzimas de 68.86 y 69.71 °C respectivamente, los cuales son mayores a los obtenidos pero con una secuencia lógica similar al aumentar la temperatura al hidrolizar el almidón, Man et al. (2013) indica que las variaciones de la temperatura de gelatinización están influenciadas al contenido de amilosa, el tamaño, la forma y la distribución de los gránulos de almidón, así como la distribución interna de las fracciones de almidón dentro del granulo. Del mismo modo, Zhang et al. (2012) afirman que el aumento significativo de la temperatura de gelatinización en los almidones modificados enzimáticamente probablemente se debe a la hidrólisis enzimática que reduce la región amorfa del almidón y aumenta la proporción de regiones cristalinas en el almidón.

### **5.3.2. Poder de hinchamiento (PH), Solubilidad (S) y Capacidad de absorción de agua (CAA)**

Los resultados del poder de hinchamiento, solubilidad y capacidad de absorción de agua se muestran en la Tabla 16, los cuales muestran diferencia significativa en cuanto a los porcentajes de enzima y variedad (valor-p < 0.05- Anexo 9), los valores del poder de hinchamiento para AQPR oscilaron de 4.75 a 12.80 (g/g) y AQCH osciló de 3.21 a 13.31 (g/g), teniendo una tendencia descendente al aumentar la concentración de enzima. Por otro lado, la solubilidad para AQPR estuvo entre 9.60 a 13.02 % y AQCH osciló de 9.61 a 16.76 %, presentando resultados ascendentes, con el aumento de la concentración de enzima y la temperatura, los valores más

altos fueron para AQCH al 2 % de enzima en las diferentes temperaturas. La capacidad de absorción de agua mostró resultados que estuvieron de 4.19 a 11.33 (g/g) en AQPR y AQCH estuvo entre 2.81 a 11.73 (g/g), se observó que los resultados descienden al aumentar la concentración de enzima y aumenta el valor al subir la temperatura; con respecto al control los almidones modificados al 1 y 2 % de enzima en los tres parámetros y en cada variedad fueron significativamente diferentes.

**Tabla 16**

*Poder de hinchamiento (g agua/g almidón), solubilidad (%) y capacidad de absorción de agua (g agua/g almidón)*

T (°C)	V	%	PH (g/g)				S (%)				CAA (g/g)				Dunnett		
			$\bar{x}$	$\pm$	s	CV(%)	$\bar{x}$	$\pm$	s	CV(%)	$\bar{x}$	$\pm$	s	CV(%)	PH (g/g)	S (%)	CAA (g/g)
50	AQPR	0	5.95	$\pm$ 0.09	1.56	9.60	$\pm$ 0.10	1.04	5.38	$\pm$ 0.08	1.51	A	A	A			
		1	5.11	$\pm$ 0.02	0.45	11.63	$\pm$ 0.04	0.38	4.51	$\pm$ 0.02	0.42	-	-	-			
		2	4.75	$\pm$ 0.10	2.01	11.73	$\pm$ 0.02	0.14	4.19	$\pm$ 0.08	2.00	-	-	-			
	AQCH	0	3.72	$\pm$ 0.10	2.70	9.61	$\pm$ 0.22	2.27	3.37	$\pm$ 0.09	2.58	B	B	B			
		1	3.45	$\pm$ 0.03	0.95	12.26	$\pm$ 0.02	0.16	3.02	$\pm$ 0.03	0.93	-	-	-			
		2	3.21	$\pm$ 0.05	1.52	12.55	$\pm$ 0.04	0.35	2.81	$\pm$ 0.04	1.05	-	-	-			
60	AQPR	0	9.01	$\pm$ 0.17	1.88	10.50	$\pm$ 0.20	1.93	8.07	$\pm$ 0.14	1.67	A	A	A			
		1	8.21	$\pm$ 0.08	0.93	12.69	$\pm$ 0.27	2.14	7.17	$\pm$ 0.05	0.63	-	-	-			
		2	8.01	$\pm$ 0.14	1.73	12.92	$\pm$ 0.06	0.45	6.98	$\pm$ 0.12	1.71	-	-	-			
	AQCH	0	7.97	$\pm$ 0.03	0.41	10.51	$\pm$ 0.13	1.21	7.14	$\pm$ 0.02	0.30	B	B	B			
		1	7.93	$\pm$ 0.10	1.25	14.04	$\pm$ 0.63	4.50	6.81	$\pm$ 0.07	0.97	B	-	-			
		2	7.65	$\pm$ 0.08	1.04	14.57	$\pm$ 0.30	2.06	6.53	$\pm$ 0.05	0.69	-	-	-			
70	AQPR	0	10.45	$\pm$ 0.23	2.22	10.49	$\pm$ 0.18	1.67	9.35	$\pm$ 0.20	2.10	A	A	A			
		1	9.51	$\pm$ 0.03	0.27	12.27	$\pm$ 0.11	0.89	8.34	$\pm$ 0.02	0.25	-	-	-			
		2	9.21	$\pm$ 0.02	0.20	12.44	$\pm$ 0.03	0.21	8.07	$\pm$ 0.02	0.22	-	-	-			
	AQCH	0	8.68	$\pm$ 0.02	0.20	10.54	$\pm$ 0.03	0.24	7.77	$\pm$ 0.02	0.20	B	B	B			
		1	8.80	$\pm$ 0.07	0.79	16.11	$\pm$ 0.34	2.13	7.38	$\pm$ 0.08	1.09	-	-	-			
		2	8.58	$\pm$ 0.02	0.18	16.30	$\pm$ 0.04	0.27	7.18	$\pm$ 0.02	0.21	-	-	-			
80	AQPR	0	11.41	$\pm$ 0.12	1.06	11.38	$\pm$ 0.03	0.22	10.11	$\pm$ 0.11	1.06	A	A	A			
		1	10.02	$\pm$ 0.08	0.84	12.89	$\pm$ 0.07	0.52	8.73	$\pm$ 0.07	0.77	-	-	-			
		2	9.91	$\pm$ 0.02	0.19	13.02	$\pm$ 0.00	0.00	8.62	$\pm$ 0.02	0.19	-	-	-			
	AQCH	0	11.25	$\pm$ 0.19	1.68	11.62	$\pm$ 0.10	0.86	9.94	$\pm$ 0.16	1.57	B	B	B			
		1	10.61	$\pm$ 0.09	0.83	16.40	$\pm$ 0.04	0.27	8.87	$\pm$ 0.08	0.84	-	-	-			
		2	10.37	$\pm$ 0.04	0.41	16.54	$\pm$ 0.01	0.06	8.66	$\pm$ 0.04	0.42	-	-	-			

	0	12.80 ± 0.25	1.99	11.46 ± 0.03	0.22	11.33 ± 0.23	2.01	A	A	A
90	AQPR	1	11.11 ± 0.03	0.30	12.86 ± 0.04	0.27	9.68 ± 0.03	0.28	-	-
		2	11.00 ± 0.02	0.18	12.96 ± 0.01	0.07	9.57 ± 0.02	0.18	-	-
		0	13.31 ± 0.02	0.16	11.86 ± 0.04	0.29	11.73 ± 0.02	0.18	B	B
	AQCH	1	12.76 ± 0.04	0.28	16.53 ± 0.02	0.10	10.65 ± 0.03	0.26	-	-
		2	12.65 ± 0.04	0.32	16.76 ± 0.05	0.30	10.53 ± 0.03	0.28	-	-

Nota: donde  $\bar{x}$ : promedio muestral, s: desviación estándar muestral, CV: coeficiente de variabilidad, V: variedad, E: enzima, AQPR: almidón de quinua Pasankalla roja, AQCH: almidón de quinua choclito PH: poder de hinchamiento, S: solubilidad, CAA: capacidad de absorción de agua, Dunnett: las medias no etiquetadas con las letras son significativamente diferentes de la media del nivel de control (0%).

Almeida et al. (2022), reportó datos similares en el poder de hinchamiento en almidón de quinua nativo los cuales oscilaron de 3.36 a 12.15 (g/g), mostrando un incremento al subir la temperatura, mencionan que los valores bajos del poder de hinchamiento pueden ser atribuidos al enredo entre la amilosa y amilopectina lo que dificulta la hinchazón de los gránulos, del mismo modo, Jiang et al. (2023) obtuvieron valores de 8.62 (g/g) para almidón nativo de maíz y almidón modificado enzimáticamente de 7.74 (g/g) y 7.68 (g/g), señala que esta disminución podría deberse a la formación de la estructura porosa después de hidrolizar, que debilitó la estructura granular general del almidón, creando superficies hidrofóbicas en las paredes internas de los pequeños agujeros, lo que restringiría la capacidad de absorción del agua, Dura et al. (2014) reportó resultados similares para almidón nativo de 1.96 (g/g) y 1.93 (g/g) en almidón de maíz modificado enzimáticamente, también reporta datos de capacidad de absorción de agua de 1.94 (g/g) en almidón nativo y modificado enzimáticamente de 1.54 (g/g), observaron que hubo una disminución del poder de hinchamiento y capacidad de absorción de agua al hidrolizar el almidón, este comportamiento también se tiene en la presente investigación ya que al modificar el poder de hinchamiento disminuye con respecto al control (0%); por lo que indica que esta tendencia está relacionada a factores de temperatura, pH, tipo de enzima de manera que influyen en la estructura del almidón.

Por otra parte, Kim et al. (2015) reportaron que el almidón nativo de cebada y arroz obtuvo un poder de hinchamiento de 10.7 (g/g) y 11.2 (g/g) respectivamente, para almidón modificado enzimáticamente de cebada y arroz fue de 4.8 (g/g) y 5.0 (g/g) respectivamente, donde observan que al hidrolizar enzimáticamente hay una reducción del poder de hinchamiento debido a la distribución de las cadenas ramificadas tratadas enzimáticamente y sugiere que la falta de cadenas ramificadas de amilopectina, retardaría la penetración del agua en los gránulos que a su vez evitaría el hinchamiento del almidón, en consecuencia posiblemente la estructura cristalina del almidón hidrolizado restringiría la hidratación de las moléculas de almidón reduciendo el poder de hinchamiento. Cabe destacar en este punto que Jiang et al. (2023)

afirman que al aumento de la temperatura de gelatinización en los almidones modificados enzimáticamente reduce el poder de hinchamiento granular, de esta forma se afirma que el aumento en la temperatura de gelatinización obtenido en el presente proyecto afecta al poder de hinchamiento y por ende a la capacidad de absorción de agua; paralelamente, Man et al (2013) menciona que el poder de hinchamiento depende de la capacidad de absorción de agua de las moléculas de almidón a través de enlaces de hidrogeno, la estabilidad del enlace de hidrogeno de la estructura de doble hélice en la región cristalina se rompe durante la gelatinización y se reemplaza por enlaces de hidrogeno con agua haciendo de esta forma que el poder de hinchamiento incremente o se normalice, en este caso la temperatura de gelatinización para los almidones en estudio fueron bajas a diferencia de otros almidones, comportamiento que se atribuye en el poder de hinchamiento haciendo que los enlaces de hidrogeno no se rompan fácilmente y no formen enlaces de hidrogeno con agua.

Por otro lado, Almeida et al. (2022), mostraron resultados bajos de solubilidad en el almidón nativo de quinoa de 2.72, 4.12 y 7.14 % a temperatura de 40, 60 y 80 °C; mientras que, Jiang et al. (2023) reportaron que para el almidón nativo de maíz fue de 2.14 % y modificado enzimáticamente 3.20 y 3.87 % a 85 °C, los resultados obtenidos por estos autores son más bajos que los logrados en la presente investigación, pero tienen la misma tendencia de incremento al modificar el almidón, ellos señalan que el incremento de la solubilidad al modificar se debió a la reacción enzimática que produce cierta cantidad de poros en el almidón y esto resultó en un mejor acceso de las moléculas de agua a los gránulos para liberar sustancias solubles aumentando de esa manera la solubilidad. De igual modo, Davoudi et al. (2022), muestran que la solubilidad en almidón de maíz son cercanos a los mostrados en la investigación, en cuanto al almidón nativo fue de 2.05 %, modificado enzimáticamente (9.09 y 10.08 %) a 85 °C, sus resultados muestran un incremento de la solubilidad al modificar enzimáticamente a diferencia del nativo, indican que el aumento de la solubilidad se debe a la destrucción de las moléculas provocando la fuga de fragmentos a través de las grietas creadas hacia el exterior de los gránulos. Cabe mencionar que, Dura et al. (2014) señala que la solubilidad representa a la cantidad de productos solubles en agua obtenidos del almidón hidrolizado ya que la enzima actuó rompiendo el grado de asociación entre enlaces intermoleculares y se lixiviaron compuestos más solubles.

## CONCLUSIONES

En la presente investigación se logró evaluar las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de los almidones de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), Pasankalla roja y cholito modificados enzimáticamente.

Se determinó las propiedades físicas de los almidones modificados al 0, 1 y 2 % de enzima en dos variedades de quinua pasankalla roja (AQPR) y cholito (AQCH). Los mejores resultados en cuanto al color fue para la variedad cholito al 1 % de enzima al igual que el índice de blancura; los niveles más bajos de actividad de agua fueron al 0 y 1 % de enzima para ambas variedades, los tamaños de partícula no tuvieron una mejora al modificar, porque se incrementó el tamaño de partículas al aumentar la concentración de enzima, los valores del potencial  $\zeta$  presentaron mejores resultados al 2% de enzima en ambas variedades teniendo una buena estabilidad.

Se determinó las propiedades químicas, el porcentaje de amilosa y amilopectina en AQPR no mostró cambios significativos al modificar enzimáticamente mientras que en AQCH se observó una disminución del porcentaje de amilosa al modificar el almidón, se observaron grupos funcionales como el grupo hidroxilo y grupo amino y se observó diferentes intensidades en los picos al modificar enzimáticamente al 1 y 2 % de enzima.

Se determinó las propiedades tecnofuncionales, la temperatura de gelatinización tuvo mejores resultados para el almidón sin modificar en ambas variedades. El poder de hinchamiento no mostró mejorías al modificar, por el contrario, disminuyó al incrementar la concentración de enzima al igual que la capacidad de absorción de agua, en ambos parámetros se observó que los mejores resultados fueron para el almidón nativo en cuanto a la solubilidad se observó una mejora al incrementar la concentración de enzima estos aspectos los hacen interesantes para las aplicaciones en las industrias farmacéuticas, alimentaria en la elaboración de papel y formador de películas.

## RECOMENDACIONES

- Evaluar diferentes variedades de almidón de quinua, para obtener más información sobre el comportamiento de sus diferentes propiedades.
- Optimizar el proceso de extracción de almidón de quinua sin el uso de reactivos químicos.
- Realizar una modificación combinada usando métodos enzimáticos y físicos.
- Realizar estudios en cuanto a la aplicación en la industria alimentaria y no alimentaria del almidón de quinua modificado enzimáticamente.
- Ampliar las propiedades de estudio como la viscosidad, morfología del almidón, grado de cristalinidad, entre otros. En almidones de diferentes variedades de quinua modificados enzimáticamente ya que los estudios en este tipo de almidón son limitadas hasta la actualidad.
- Realizar una comparación de las propiedades físicas químicas y tecnofuncionales del almidón de quinua con los almidones más comerciales como el almidón papa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, J. A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest biology and technology*, 15(3), 207-225
- Ahmed, J., Thomas, L., Arfat, YA y Joseph, A. (2018). Propiedades reológicas, estructurales y funcionales del almidón de quinua tratado a alta presión en dispersiones. *Polímeros de carbohidratos*, 197, 649-657. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.05.081>
- Ahmed, J., Tiwari, B., Imam, S. y Rao, M. (2012). Materiales poliméricos a base de almidón y nanocomositas. *Química, Procesamiento y Aplicaciones; Prensa CRC: Boca Ratón, FL, EE. UU.*
- Almeida, R, Santos, N, Feitoza, J, da Silva, G, Muniz, C, Eduardo, R, . . . Mota, M. (2022). Efecto del tratamiento calor-humedad sobre las propiedades térmicas, estructurales y morfológicas del almidón de quinua. *Tecnologías y aplicaciones de polímeros de carbohidratos*, 3, 100192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100192>
- Almeida, R, Santos, N, Feitoza, J, da Silva, G, Muniz, C, Eduardo, R, . . . Mota, M. (2022). Efecto del tratamiento calor-humedad sobre las propiedades térmicas, estructurales y morfológicas del almidón de quinua. *Tecnologías y aplicaciones de polímeros de carbohidratos*, 3, 100192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100192>
- Almeida, R, Santos, N, Padilha, C, Monteiro, S, & dos Santos, E. (2021). Impacto de los pretratamientos hidrotermales sobre las características fisicoquímicas y la cinética de secado del almidón de arroz rojo (*Oryza sativa* L.) [<https://doi.org/10.1111/jfpp.15448>]. *Revista de Procesamiento y Conservación de Alimentos*, 45 (5), e15448. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.15448>



- Almeida, RLJ, dos Santos Pereira, T., de Andrade Freire, V., Santiago, Â. M., Oliveira, HML, de Sousa Conrado, L. y de Gusmão, RP (2019). Influencia de la hidrólisis enzimática sobre las propiedades del almidón de arroz rojo. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 141, 1210-1219. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.072>
- Almeida, RLJ, dos Santos Pereira, T., de Andrade Freire, V., Santiago, Â. M., Oliveira, HML, de Sousa Conrado, L. y de Gusmão, RP (2019). Influencia de la hidrólisis enzimática sobre las propiedades del almidón de arroz rojo. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 141, 1210-1219. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.072>
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú.
- Araujo-Farro, PC, Podadera, G., Sobral, PJA, & Menegalli, FC (2010). Desarrollo de películas a base de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa*, Willdenow). *Polímeros de carbohidratos*, 81 (4), 839-848. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.03.051>
- Arendt, K., & Zannini, E. (2013). 12 - Quinoa. In E. K. Arendt & E. Zannini (Eds.), *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries* (pp. 409-438). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9780857098924.409>
- Arone. D. (2019). Determinación de las propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y microbiológicas del almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) de las variedades blanca, amarilla y morada.

- Arzapalo, D., & Huamán, K. (2015). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) negra collana, pasankalla roja y blanca junín. *Revista de la Sociedad Química del Perú* , 81 (1), 44-54.
- Badui, D. (2016). *Química de los alimentos*. México, Pearson Educación.
- Ballester-Sánchez, J., Gil, JV, Fernández-Espinar, MT, & Haros, CM (2019). Molienda húmeda de quinua: efecto de las condiciones de remojo en la recuperación y calidad del almidón. *Hidrocoloides alimentarios*, 89, 837-843. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.053>
- Banerjee, D. (2017). Nanofluidos y Aplicaciones a Sistemas Energéticos. En MA Abraham (Ed.), *Enciclopedia de tecnologías sostenibles* (págs. 429-439). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10144-7>
- Babtie, A., Tokuriki, N. y Hollfelder, F. (2010). ¿Qué hace que una enzima sea promiscua? *Opinión actual en biología química* , 14 (2), 200-207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2009.11.028>
- Bernal, C., Morales, D., Cuellar, L., & Jaramillo, S. (2017). Hidrólisis enzimática de almidón. *Revista De Investigación*, 10(1), 129–140. <https://doi.org/10.29097/2011-639X.70>
- Bemiller, J y Whistler, R (2009). *Almidón: química y tecnología*. Prensa Académica.
- Bemiller, J. (1997). Modificación del almidón: desafíos y perspectivas [https://doi.org/10.1002/star.19970490402]. *Almidón-Stärke* , 49 (4), 127-131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.19970490402>
- Benítez, C. (2006). El maíz: origen, composición química y morfología. *Z Año 4 u Núm. 7 de agosto de 2007* , 7 , 15-20.

- Bertoft, E. (2017). Comprensión de la estructura del almidón: avances recientes. *Agronomía*, 7 (3).
- Biliaderis, C. (1998). Estructuras y transiciones de fase de polímeros de almidón. *ChemInform*, 29 (47).
- Boudries, N., Belhaneche, N., Nadjemi, B., Deroanne, C., Mathlouthi, M., Roger, B., & Sindic, M. (2009). Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. *Carbohydrate Polymers*, 78(3), 475-480. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.05.010>
- Calle, J., Benavent-Gil, Y., & Rosell, C. M. (2021). Use of flour from cormels of *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott and *Colocasia esculenta* (L.) Schott to develop pastes foods: Physico-chemical, functional and nutritional characterization. *Food Chemistry*, 344, 128666. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128666>
- Cardona, F. (2019). Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y aplicaciones.
- Carreño, J., Martínez, A., Almela, L., & Fernández-López, J. A. (1995). Proposal of an index for the objective evaluation of the colour of red table grapes. *Food Research International*, 28(4), 373-377. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0963-9969\(95\)00008-A](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0963-9969(95)00008-A)
- Charles, AL, Chang, YH, Ko, WC, Sriroth, K. y Huang, TC (2004). Algunas propiedades físicas y químicas de aislados de almidón de genotipos de yuca. *Starch-Stärke*, 56 (9), 413-418.
- Chen, X., Hu, Z., Chen, D. y Feng, T. (2022). Preparación y propiedades fisicoquímicas del almidón succinato de octenilo modificado enzimáticamente [ <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16122>]. *Revista de ciencia de los alimentos*, 87 (5), 2112-2120.

- Chi, H., Xu, K., Wu, X., Chen, Q., Xue, D., Song, C., . . . Wang, P. (2008). Efecto de la acetilación sobre las propiedades del almidón de maíz. *Química alimentaria* , 106 (3), 923-928. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.002>
- Choquehuayta, D. (2017). *Análisis reológico de harinas y almidones aislados de cinco variedades de quinua (chenopodium quinoa willd) para su utilización en la elaboración de mazamorra* [ tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].
- Davies, L. (1995). Almidón-composición, modificaciones, aplicaciones y valor nutritivo en los alimentos. *Food Tech Europe (Reino Unido)*.
- Davoudi, Z., Azizi, MH y Barzegar, M. (2022). Almidón de maíz poroso obtenido a partir de plasma frío combinado e hidrólisis enzimática: microestructura y propiedades fisicoquímicas. *Revista internacional de macromoléculas biológicas* , 223 , 790-797. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.058>
- Donovan, R., Crisp, H. y Collins-Brown, L. (2023). Análisis de Drogas Ilícitas. En MM Houck (Ed.), *Enciclopedia de Ciencias Forenses, Tercera Edición (Tercera Edición)* (págs. 133-142). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823677-2.00099-4>
- Dura, A., Błaszczak, W., & Rosell, C. M. (2014). Functionality of porous starch obtained by amylase or amyloglucosidase treatments. *Carbohydrate Polymers*, 101, 837-845. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.013>
- Ferreira, M. D. (1994). Physiological responses of strawberry to handling impacts and precooling methods.
- Fiorda, F., Soares, J., Silva, F., Souto, L. y Grossmann, M. (2013). Farinha de bagaço de mandioca: aprobación de subproducto y comparación con fécula de mandioca. *Pesquisa Agropecuária Tropical* , 43 , 408-416.

- Galicia, L., Miranda, A., Gutiérrez, M., Custodio, O., Rosales, A., Ruíz, N., . . . Palacios, N. (2012). *Laboratorio de calidad nutricional de maiz y analisis de tejido vegetal: protocolos de laboratorio 2012*. CIMMYT.
- Garzón, P. (2019). Diseño e implementación de prototipo de separación de almidón de papa. Universidad de los Andes.
- Gani, A., Nazia, S., Rather, SA, Wani, SM, Shah, A., Bashir, M., . . . Gani, A. (2014). Efecto de la irradiación y sobre la estructura de los gránulos y las propiedades fisicoquímicas del almidón extraído de dos tipos de patatas cultivadas en Jammu y Cachemira, India. *LWT - Ciencia y tecnología de los alimentos*, 58 (1), 239-246. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.008>
- Grace, M. (1977). Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. 116 pp.
- Graham, H. (1978). Coloides alimentarios [\[https://doi.org/10.1002/star.19780300510\]](https://doi.org/10.1002/star.19780300510). *Starch - Stärke*, 30(5), 177-177.
- Guha, M., Ali, S., & Bhattacharya, S. (1997). Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. *Journal of Food Engineering*, 32(3), 251-267. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00028-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00028-9)
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718–726. doi: 10.1590/s0101-20612008000300031
- Jan, K. N., Panesar, P. S., Rana, J. C., & Singh, S. (2017). Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *International Journal of*

322. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027>
- Jan, KN, Panesar, PS y Singh, S. (2017). Estandarización de procesos para el aislamiento del almidón de quinua y su caracterización en comparación con otros almidones. *Revista de medición y caracterización de alimentos*, 11 (4), 1919-1927. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9574-6>
- Jan, KN, Panesar, PS, Rana, JC y Singh, S. (2017). Propiedades estructurales, térmicas y reológicas de almidones aislados de variedades de quinua india. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 102, 315-322. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027>
- Jan, R., Saxena, DC y Singh, S. (2016). Características pegajosas, térmicas, morfológicas, reológicas y estructurales del almidón *Chenopodium* (*Chenopodium album*). *LWT - Ciencia y tecnología de los alimentos*, 66, 267-274. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.040>
- Jiang, F., Du, C., Guo, Y., Fu, J., Jiang, W. y Du, S.-k. (2020). Propiedades fisicoquímicas y estructurales de almidones aislados de variedades de quinua. *Hidrocoloides alimentarios*, 101, 105515. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105515>
- Jiang, K., Wang, W., Ma, Q., Wang, J. y Sun, J. (2023). Hidrólisis enzimática asistida por microondas como una nueva forma eficiente de preparar almidón poroso. *Polímeros de carbohidratos*, 301, 120306.
- Joseph, E. y Singhvi, G. (2019). Capítulo 4 - Nanocristales multifuncionales para la terapia del cáncer: un nanoportador potencial. En AM Grumezescu (Ed.), *Nanomaterials for Drug Delivery and Therapy* (págs. 91-116). Editorial William Andrew. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816505-8.00007-2>

- Kaur, B., Ariffin, F., Bhat, R., & Karim, A. A. (2012). Progress in starch modification in the last decade. *Food Hydrocolloids*, 26(2), 398-404. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.016>
- Kheto, A., Das, R., Deb, S., Bist, Y., Kumar, Y., Tarafdar, A. y Saxena, DC (2022). Avances en el aislamiento, caracterización, modificación y aplicación del almidón de *Chenopodium*: una revisión exhaustiva. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 222, 636-651. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.191>
- Kim, B.-S., Kim, H.-S., & Yoo, S.-H. (2015). Characterization of enzymatically modified rice and barley starches with amylsucrase at scale-up production. *Carbohydrate Polymers*, 125, 61-68 <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.048>
- Kim, J.-Y., Park, D.-J. y Lim, S.-T. (2008). Fragmentación de gránulos de almidón de arroz ceroso por hidrólisis enzimática [ <https://doi.org/10.1094/CCHEM-85-2-0182>]. *Química de cereales*, 85 (2), 182-187. <https://doi.org/https://doi.org/10.1094/CCHEM-85-2-0182>
- Labuza, TP (1970). Contenido de agua y estabilidad de alimentos de humedad baja e intermedia. *Food Technol*, 24, 543-550.
- Labuza, TP y Altunakar, L. (2007). Predicción de la actividad del agua e isothermas de sorción de humedad. En *Actividad del agua en los alimentos* (págs. 109-154). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9780470376454.ch5>
- Lacerda, L. D., Leite, D. C., Soares, R. M. D., & da Silveira, N. P. (2018). Effects of  $\alpha$ -Amylase, Amyloglucosidase, and Their Mixture on Hierarchical Porosity of Rice Starch [<https://doi.org/10.1002/star.201800008>]. *Starch - Stärke*, 70(11-12), 1800008.

- Lacerda, LD, Leite, DC y da Silveira, NP (2019). Relaciones entre las condiciones de hidrólisis enzimática y las propiedades de los almidones porosos de arroz. *Revista de ciencia de los cereales* , 89 , 102819. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102819>
- Lana, M. M., Tijskens, L. M. M., & van Kooten, O. (2006). Effects of storage temperature and stage of ripening on RGB colour aspects of fresh-cut tomato pericarp using video image analysis. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 871-879. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.08.015>
- Lasekan, O. O., & Lasekan, W. O. (2000). Moisture Sorption and the Degree of Starch Polymer Degradation on Flours of Popped and Malted Sorghum (*Sorghum bicolor*). *Journal of Cereal Science*, 31(1), 55-61. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/jcrs.1999.0288>
- Leyva, R. (2018). Caracterización fisicoquímica y morfológica del almidón de maíz modificado enzimáticamente y su efecto protector y de bioaccesibilidad de ácido ascórbico.
- Li, C., Fang, D., Li, Z., Gu, Z., Yang, Q., Cheng, L. y Hong, Y. (2016). Sacarificación mejorada en dos pasos de lechadas de almidón de maíz de alta concentración mediante enzima hidrolizante de almidón granular. *Cultivos y productos industriales*, 94, 259-265. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.049>
- Li, G. y Zhu, A. (2018). Almidón de quinua: estructura, propiedades y aplicaciones. *Polímeros de carbohidratos* , 181 , 851-861. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.067>
- Li, G. y Zhu, F. (2017). Estructura molecular de la amilopectina en relación con las propiedades fisicoquímicas del almidón de quinua. *Polímeros de carbohidratos* , 164 , 396-402. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.014>



- Li, G., Wang, S. y Zhu, F. (2016). Propiedades fisicoquímicas del almidón de quinua. *Polímeros de carbohidratos*, 137, 328-338. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.064>
- Lindeboom, N., Chang, PR, Falk, KC y Tyler, RT (2005). Características del almidón de ocho líneas de quinua. *Química de cereales*, 82 (2), 216-222. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0216>
- Liu, P., Fang, Y., Zhang, X., Zou, F., Gao, W., Zhao, H., . . . Cui, B. (2020). Efectos del tratamiento multienzimático sobre las propiedades fisicoquímicas del complejo ácido láurico-almidón de maíz. *Hidrocoloides alimentarios*, 107, 105941. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105941>
- López-Fernández, MP, & Maldonado, S. (2013). Muerte celular programada durante el desarrollo del perispermo de la quinua. *Diario de Botánica Experimental*, 64 (11), 3313-3325. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert170>
- Luxán, M. P. d., & Frías, M. (1988). La difracción de rayos láser en el análisis de la granulometría de partículas.
- Man, J., Yang, Y., Huang, J., Zhang, C., Zhang, F., Wang, Y., . . . Wei, C. (2013). Morphology and structural properties of high-amylose rice starch residues hydrolysed by amyloglucosidase. *Food Chemistry*, 138(4), 2089-2098. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.009>
- Manudhane, K., Contratista, A., Kim, H., & Shangraw, R. (1969). Tableting Properties of a Directly Compressible Starch. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 58(5), 616-620. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jps.2600580524>

- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro sur*, 42(2), 57-66. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>
- Maza, N. N. (2020). Extracción y caracterización fisicoquímica y tecnofuncional de carbohidratos tipo almidón de cinco variedades de Quinoa.
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255.
- Mendoza, F., Dejmek, P., & Aguilera, J. M. (2006). Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 285-295. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.04.004>
- MIDAGRI (2021). El Perú se consolida como el primer productor y exportador mundial de quinua. *El peruano*. <https://elperuano.pe/noticia/113345-el-peru-se-consolida-como-el-primer-productor-y-exportador-mundial-de-quinua>
- MINISTERIO DE AGRICULTURA- MINAGRI (2017). Producción de la quinua.
- Minolta, K. (1998). Konica Minolta Sensing, Inc. *Precise color communication. Color control from perception to instrumentation. Daisennishimachi, Sakai. Osaka, Japan, 59.*
- Murphy, P. (2000). Almidón. *Manual de hidrocoloides* , 41-65.
- Nebesny, E. (1993). Cambios en las composiciones de carbohidratos durante la hidrólisis enzimática de almidones de varios orígenes [ <https://doi.org/10.1002/star.19930451204>].
- Nowak, V., Du, J. y Charrondièrre, U. (2016). Evaluación de la composición nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Química de los Alimentos*, 193 , 47-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>

- Ogungbenle, H. (2003). Evaluación nutricional y propiedades funcionales de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa*). *Revista Internacional de Ciencias de la Alimentación y Nutrición*, 54 (2), 153-158. <https://doi.org/10.1080/0963748031000084106>
- Oliva-Arteaga, M. M., Duque-Cifuentes, A. L., & García-Alzate, L. S. Caracterización fisicoquímica del cereal y almidón de Quinoa *Chenopodium quinoa*.
- Pando, L., & Aguilar, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. *FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura e Universidad Nacional Agraria La Molina*. <https://www.bivica.org/files/quinua-cultivo-guia.pdf>
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A.-J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and bioprocess technology*, 6(1), 36-60.
- Pelembe, L., Erasmus, C., & Taylor, J. (2002). Development of a Protein-rich Composite Sorghum–Cowpea Instant Porridge by Extrusion Cooking Process. *LWT - Food Science and Technology*, 35(2), 120-127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0812>
- Pereda, J. (2016). Calibración para determinar la composición proximal de la quinua (*Chenopodium quinoa* W.) usando la espectroscopía de transmitancia en el infrarrojo cercano.
- Pérez, S. E., & Lares, A. M., (2004). A laboratory scale method for isolation of starch from pigmented sorghum. *Journal of Food Engineering*, 64(4), 515-519. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.11.019>
- Pérez, S. y Bertoft, E. (2010). Las estructuras moleculares de los componentes del almidón y su contribución a la arquitectura de los gránulos de almidón: una revisión exhaustiva [<https://doi.org/10.1002/star.201000013>].

- Punia B, S., Ashogbon, AO, Singh, A., Chaudhary, V. y Whiteside, WS (2022). Modificación enzimática del almidón: un enfoque ecológico para aplicaciones de almidón. *Polímeros de carbohidratos* , 287 , 119265. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119265>
- Qian, J. y Kuhn, M. (1999). Propiedades físicas de los almidones de trigo sarraceno de varios orígenes [ [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-379X\(199903\)51:2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-379X(199903)51:2)
- Riley, C., Wheatley, A., Hassan, I., Ahmad, M., Morrison, E., & Asemota, H. (2004). In vitro Digestibility of Raw Starches Extracted from five Yam (*Dioscorea* spp.) Species Grown in Jamaica [ <https://doi.org/10.1002/star.200300195>].
- Sánchez-Rivera, M. M., García-Suárez, F. J. L., 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.07.005>
- Schirmer, M., Jekle, M. y Becker, T. (2015). Gelatinización del almidón y su complejidad para el análisis [ <https://doi.org/10.1002/star.201400071>]. *Almidón - Stärke* , 67 (1-2), 30-41.
- Shokri, S., Javanmardi, F., Mohammadi, M. y Mousavi Khaneghah, A. (2022). Efectos del ultrasonido sobre las propiedades tecnofuncionales de las proteínas de la leche: una revisión sistemática. *Ultrasonidos Sonoquímica* , 83 , 105938. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105938>
- Solarte-Montúfar, Juan G., Díaz-Murangal, Anderson E., Osorio-Mora, Oswaldo, & Mejía-España, Diego F.. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Información tecnológica*, 30(6), 35-44. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>

- Talens, P. (2017). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB.
- Tapia, M. (1979). *La quinua y la kañiwa: cultivos andinos* (Vol. 40). Babero. Orton IICA/CATIE.
- Tester, R., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch—composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39(2), 151-165. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>
- Tester, RF, Karkalas, J. y Qi, X. (2004). Almidón: composición, estructura fina y arquitectura. *Revista de Ciencias de los Cereales*, 39 (2), 151-165. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>
- Thatcher, PJ y Kelleher, JD (2000). INVESTIGACIÓN DE INCENDIOS | Laboratorio. En JA Siegel (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences* (págs. 922-928). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/rwfs.2000.0530>
- Tomasik, P. y Horton, D. (2012). Capítulo 2 - Conversiones enzimáticas del almidón. En D. Horton (Ed.), *Avances en Química y Bioquímica de Carbohidratos* (Vol. 68, pp. 59-436). Prensa Académica. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396523-3.00001-4>
- Valdez-Arana, J.-d.-C., Steffolani, M. E., Repo-Carrasco-Valencia, R., Pérez, G. T., & Condezo-Hoyos, L. (2020). Physicochemical and functional properties of isolated starch and their correlation with flour from the Andean Peruvian quinoa varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 997-1007. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.067>
- Velásquez-Barreto, F. F., Miñano, H. A., Alvarez-Ramirez, J., & Bello-Pérez, L. A. (2021). Structural, functional, and chemical properties of small starch granules: Andean quinoa

and kiwicha. *Food Hydrocolloids*, 120, 106883. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106883>

Wang, W., Hu, A., Li, J., Liu, G., Wang, M., & Zheng, J. (2022). Comparison of physicochemical properties and digestibility of sweet potato starch after two modifications of microwave alone and microwave-assisted L-malic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 210, 614-621. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.215>

Waterschoot, J., Gomand, S., Fierens, E. y Delcour, J. (2015). Producción, estructura, propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidones de maíz, yuca, trigo, papa y arroz [ <https://doi.org/10.1002/star.201300238>].

Wright, K., Pike, O., Fairbanks, D., & Huber, C. (2002). Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *Journal of food science*, 67(4), 1383-1385.

Wright, KH, Huber, KC, Fairbanks, DJ y Huber, CS (2002). Aislamiento y Caracterización de Almidones *Atriplex hortensis* y Sweet *Chenopodium quinoa* [ <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.5.715>]. *Química de cereales*, 79 (5), 715-719.

Würzburg, OB (1986). Aspectos nutricionales y seguridad de los almidones alimentarios modificados. *Revisiones de nutrición (EE. UU.)*.

Xing, B., Teng, C., Sun, M., Zhang, Q., Zhou, B., Cui, H., . . . Qin, P. (2021). Efecto del tratamiento de germinación sobre las propiedades estructurales y fisicoquímicas del almidón de quinua. *Hidrocoloides alimentarios*, 115, 106604. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106604>

Yada, R. Y., Buck, N., Canady, R., DeMerlis, C., Duncan, T., Janer, G., . . . Noonan, G. (2014). Engineered nanoscale food ingredients: evaluation of current knowledge on material

characteristics relevant to uptake from the gastrointestinal tract. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 730-744.

Yaruro, N. (2018). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, térmicas y microestructurales del almidón de Achira (*Canna edulis*) (Tesis para obtener el título de magister en ciencia y tecnología de alimentos, Universidad Nacional de Colombia).

Zárate, L. (2019). Aplicación del almidón de quinua (*Chenopodium quinoa*) en la industria alimentaria de acuerdo a su potencial tecnológico. *Escuela de Posgrado*.

Zhang, B., Cui, D., Liu, M., Gong, H., Huang, Y. y Han, F. (2012). Almidón poroso de maíz: Preparación, caracterización y propiedad de adsorción. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 50 (1), 250-256. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.11.002>

Zhang, L., Xiong, T., Wang, X., Chen, D., He, X., Zhang, C., . . . Qian, J.-Y. (2021). Emulsionantes pickering a base de almidones de quinua modificados enzimáticamente: preparación, microestructuras, propiedad hidrofílica y propiedad emulsionante. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 190, 130-140. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.212>

Zhou, Y.-l., Cui, L.-h., You, X.-y., Jiang, Z.-h., Qu, W.-h., Liu, P.-d., . . . Cui, Y.-y. (2021). Effects of repeated and continuous dry heat treatments on the physicochemical and structural properties of quinoa starch. *Food Hydrocolloids*, 113, 106532. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106532>

Zou, W., Yu, L., Liu, X., Chen, L., Zhang, X., Qiao, D., & Zhang, R. (2012). Effects of amylose/amylopectin ratio on starch-based superabsorbent polymers. *Carbohydrate*

*Polymers*, 87(2),

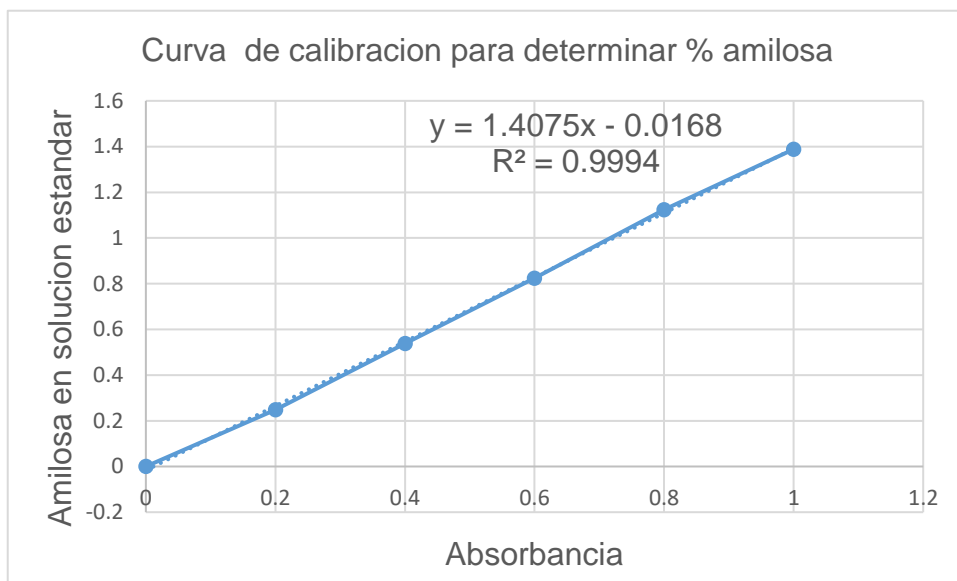
1583-

1588. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.060>



## ANEXOS

### Anexo 1. Curva de calibración para determinar el porcentaje de amilosa



### Anexo 2. ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para Luminosidad por % enzima.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: % ENZIMA	0.663033	2	0.331517	6.07	0.0126
B: BLOQUE	0.630939	1	0.630939	11.56	0.0043
RESIDUOS	0.764078	14	0.054577		
TOTAL (CORREGIDO)	2.05805	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% ENZIMA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	6	92.93	0.0953738	A
2	6	93.2767	0.0953738	B
1	6	93.3783	0.0953738	B

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	-0.448333	0.289287
0 - 2	*	-0.346667	0.289287
1 - 2		0.101667	0.289287

\* indica una diferencia significativa.

### ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para croma a\* por % enzima.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: % ENZIMA	0.562178	2	0.281089	40.88	0.0000
B: BLOQUE	0.22445	1	0.22445	32.64	0.0001
RESIDUOS	0.0962667	14	0.00687619		
TOTAL (CORREGIDO)	0.882894	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% ENZIMA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	6	-0.0916667	0.0338531	A
1	6	0.0583333	0.0338531	B
2	6	0.335	0.0338531	C

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	-0.15	0.102683
0 - 2	*	-0.426667	0.102683
1 - 2	*	-0.276667	0.102683

\* indica una diferencia significativa.

### ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para croma b\* por % enzima.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: % ENZIMA	0.1456	2	0.0728	12.41	0.0008
B: BLOQUE	0.121689	1	0.121689	20.75	0.0004
RESIDUOS	0.0821111	14	0.00586508		
TOTAL (CORREGIDO)	0.3494	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% ENZIMA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	6	1.67333	0.0312652	A
0	6	1.69333	0.0312652	A
2	6	1.87333	0.0312652	B

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1		0.02	0.0948334
0 - 2	*	-0.18	0.0948334
1 - 2	*	-0.2	0.0948334

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 3. ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para índice de blancura por % enzima.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: % enzima	0.592878	2	0.296439	6.68	0.0092
B: BLOQUE	0.7442	1	0.7442	16.77	0.0011
RESIDUOS	0.6213	14	0.0443786		
TOTAL (CORREGIDO)	1.95838	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	6	92.7283	0.0860025	A
2	6	93.0117	0.0860025	B
1	6	93.1667	0.0860025	B

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	-0.438333	0.260862
0 - 2	*	-0.283333	0.260862
1 - 2		0.155	0.260862

\*indica una diferencia significativa.

#### Anexo 4. ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para actividad de agua por % enzima.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: % enzima	0.038836	2	0.019418	16.56	0.0002
B: BLOQUE	0.00665089	1	0.00665089	5.67	0.0320
RESIDUOS	0.0164171	14	0.00117265		
TOTAL (CORREGIDO)	0.061904	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	6	0.388333	0.0139801	A
0	6	0.433333	0.0139801	B
2	6	0.501333	0.0139801	C

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0.045	0.0424042
0 - 2	*	-0.068	0.0424042
1 - 2	*	-0.113	0.0424042

\* indica una diferencia significativa.

#### Anexo 5. ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para tamaño de partícula por % enzima.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: %enzima	6548.83	2	3274.42	11.04	0.0003
B: BLOQUE	1868.51	1	1868.51	6.30	0.0186
RESIDUOS	7712.39	26	296.63		
TOTAL (CORREGIDO)	16129.7	29			

Método: 95.0 porcentaje LSD

%enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	10	13.456	5.44638	A
2	10	19.22	5.44638	A
1	10	47.28	5.44638	B

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	-33.824	15.8324
0 - 2		-5.764	15.8324
1 - 2	*	28.06	15.8324

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 6. ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para potencial zeta por % enzima.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: % enzima	1353.22	2	676.61	216.96	0.0000
B: BLOQUE	0.215606	1	0.215606	0.07	0.7964
RESIDUOS	43.6605	14	3.11861		
TOTAL (CORREGIDO)	1397.1	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	-48.2517	0.720949	A
1	6	-43.705	0.720949	B
0	6	-28.0117	0.720949	C

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	15.6933	2.18678
0 - 2	*	20.24	2.18678
1 - 2	*	4.54667	2.18678

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 7. ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos porcentaje de amilosa por % enzima.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: % enzima	7.0	2	3.5	1.14	0.3479
B: BLOQUE	1200.5	1	1200.5	390.86	0.0000
RESIDUOS	43.0	14	3.07143		
TOTAL (CORREGIDO)	1250.5	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	44.0	0.715475	A
1	6	45.0	0.715475	A
0	6	45.5	0.715475	A

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1		0.5	2.17017
0 - 2		1.5	2.17017
1 - 2		1.0	2.17017

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 8. ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para poder de hinchamiento a 50 °C por % enzima.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: % enzima	21.0864	2	10.5432	85.14	0.0000
B: BLOQUE	112.25	1	112.25	906.42	0.0000
RESIDUOS	1.73374	14	0.123839		
TOTAL (CORREGIDO)	135.07	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	6	55.6	0.143666	A
2	6	57.88	0.143666	B
1	6	57.9117	0.143666	B

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	-2.31167	0.435766
0 - 2	*	-2.28	0.435766
1 - 2		0.0316667	0.435766

\* indica una diferencia significativa.

**ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para poder de hinchamiento a 50 °C por % enzima.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: % enzima	2.26878	2	1.13439	33.50	0.0000
B: BLOQUE	14.677	1	14.677	433.45	0.0000
RESIDUOS	0.474054	14	0.033861		
TOTAL (CORREGIDO)	17.4198	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	3.9798	0.0751232	A
1	6	4.27488	0.0751232	B
0	6	4.83578	0.0751232	C

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0.5609	0.227863
0 - 2	*	0.855983	0.227863
1 - 2	*	0.295083	0.227863

\* indica una diferencia significativa.

**ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para poder de hinchamiento a 60 °C por % enzima.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: % enzima	1.36033	2	0.680166	14.50	0.0004
B: BLOQUE	1.41984	1	1.41984	30.27	0.0001
RESIDUOS	0.656604	14	0.0469003		
TOTAL (CORREGIDO)	3.43677	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	7.82787	0.0884122	A
1	6	8.06775	0.0884122	A
0	6	8.49272	0.0884122	B

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0.424967	0.268171
0 - 2	*	0.66485	0.268171
1 - 2		0.239883	0.268171

\* indica una diferencia significativa.

#### ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para poder de hinchamiento a 70 °C por % enzima.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: % enzima	1.3758	2	0.687899	7.35	0.0066
B: BLOQUE	4.82486	1	4.82486	51.58	0.0000
RESIDUOS	1.30962	14	0.0935441		
TOTAL (CORREGIDO)	7.51028	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	8.89308	0.124863	A
1	6	9.14987	0.124863	A
0	6	9.56415	0.124863	B

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0.414283	0.378733
0 - 2	*	0.671067	0.378733
1 - 2		0.256783	0.378733

\* indica una diferencia significativa.

#### ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para poder de hinchamiento a 80 °C por % enzima.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: % enzima	4.92019	2	2.4601	56.40	0.0000
B: BLOQUE	0.399112	1	0.399112	9.15	0.0091
RESIDUOS	0.610685	14	0.0436203		
TOTAL (CORREGIDO)	5.92999	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	10.141	0.0852646	X
1	6	10.3148	0.0852646	X
0	6	11.3267	0.0852646	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	1.01188	0.258624
0 - 2	*	1.18573	0.258624
1 - 2		0.17385	0.258624

\* indica una diferencia significativa.

### ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para poder de hinchamiento a 90 °C por % enzima.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: % enzima	5.55074	2	2.77537	27.11	0.0000
B: BLOQUE	7.30028	1	7.30028	71.32	0.0000
RESIDUOS	1.43312	14	0.102366		
TOTAL (CORREGIDO)	14.2841	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	11.8238	0.130618	A
1	6	11.936	0.130618	A
0	6	13.0539	0.130618	B

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	1.11787	0.396189
0 - 2	*	1.2301	0.396189
1 - 2		0.112233	0.396189

\*indica una diferencia significativa.

### Anexo 9. ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para la solubilidad a 50 °C por % enzima y bloque.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: % enzima	23.9605	2	11.9803	252.55	0.0000
B: BLOQUE	1.0512	1	1.0512	22.16	0.0003
RESIDUOS	0.664119	14	0.0474371		
TOTAL (CORREGIDO)	25.6759	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	6	9.60277	0.0889167	A
1	6	11.9472	0.0889167	B
2	6	12.1417	0.0889167	B

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	-2.34445	0.269702
0 - 2	*	-2.5389	0.269702
1 - 2		-0.19445	0.269702

\* indica una diferencia significativa.

**ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para la solubilidad a 60 °C por % enzima y bloque.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: % enzima	37.7057	2	18.8529	74.33	0.0000
B: BLOQUE	4.51672	1	4.51672	17.81	0.0009
RESIDUOS	3.55104	14	0.253646		
TOTAL (CORREGIDO)	45.7735	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	6	10.5028	0.205607	X
1	6	13.3667	0.205607	X
2	6	13.7445	0.205607	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	-2.86387	0.623646
0 - 2	*	-3.24167	0.623646
1 - 2		-0.3778	0.623646

\* indica una diferencia significativa.

**ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para la solubilidad a 70 °C por % enzima y bloque.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: % enzima	56.7229	2	28.3615	26.93	0.0000
B: BLOQUE	30.1173	1	30.1173	28.59	0.0001
RESIDUOS	14.7463	14	1.05331		
TOTAL (CORREGIDO)	101.587	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	6	10.5167	0.418989	X
1	6	14.1889	0.418989	X
2	6	14.3695	0.418989	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	-3.6722	1.27087
0 - 2	*	-3.85277	1.27087
1 - 2		-0.180567	1.27087

**ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para la solubilidad a 80 °C por % enzima y bloque.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: % enzima	41.3695	2	20.6848	26.87	0.0000
B: BLOQUE	26.4424	1	26.4424	34.35	0.0000
RESIDUOS	10.7778	14	0.769846		
TOTAL (CORREGIDO)	78.5898	17			



Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	6	11.4972	0.358201	A
1	6	14.6444	0.358201	B
2	6	14.7778	0.358201	B

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	-3.14722	1.08649
0 - 2	*	-3.28055	1.08649
1 - 2		-0.133333	1.08649

\* indica una diferencia significativa.

### ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para la solubilidad a 90 °C por % enzima y bloque.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: % enzima	38.9648	2	19.4824	24.54	0.0000
B: BLOQUE	31.0299	1	31.0299	39.08	0.0000
RESIDUOS	11.1168	14	0.794061		
TOTAL (CORREGIDO)	81.1115	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

% enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	6	11.6583	0.36379	A
1	6	14.6972	0.36379	B
2	6	14.8556	0.36379	B

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	-3.0389	1.10345
0 - 2	*	-3.19725	1.10345
1 - 2		-0.15835	1.10345

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 10. ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para la capacidad de absorción de agua a 50 °C por % enzima y bloque.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: %enzima	2.39336	2	1.19668	42.53	0.0000
B: BLOQUE	11.9046	1	11.9046	423.12	0.0000
RESIDUOS	0.393896	14	0.0281354		
TOTAL (CORREGIDO)	14.6919	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

%enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	3.49972	0.068478	A
1	6	3.76677	0.068478	B
0	6	4.37138	0.068478	C

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0.604617	0.207707
0 - 2	*	0.871667	0.207707
1 - 2	*	0.26705	0.207707

\* indica una diferencia significativa.

### ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para la capacidad de absorción de agua a 60 °C por % enzima y bloque.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: %enzima	2.29316	2	1.14658	43.40	0.0000
B: BLOQUE	1.49103	1	1.49103	56.44	0.0000
RESIDUOS	0.369884	14	0.0264203		
TOTAL (CORREGIDO)	4.15408	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

%enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	6.7534	0.066358	A
1	6	6.9901	0.066358	B
0	6	7.60063	0.066358	C

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0.610533	0.201277
0 - 2	*	0.847233	0.201277
1 - 2	*	0.2367	0.201277

\* indica una diferencia significativa.

### ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para la capacidad de absorción de agua a 70 °C por % enzima y bloque.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: %enzima	2.84887	2	1.42444	37.73	0.0000
B: BLOQUE	5.88028	1	5.88028	155.75	0.0000
RESIDUOS	0.528547	14	0.0377534		
TOTAL (CORREGIDO)	9.2577	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

%enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	7.62133	0.0793236	A
1	6	7.85848	0.0793236	A
0	6	8.55847	0.0793236	B

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0.699983	0.240604
0 - 2	*	0.937133	0.240604
1 - 2		0.23715	0.240604

\* indica una diferencia significativa.

**ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para la capacidad de absorción de agua a 80 °C por % enzima y bloque.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: %enzima	6.89771	2	3.44885	289.14	0.0000
B: BLOQUE	0.0000554756	1	0.0000554756	0.00	0.9466
RESIDUOS	0.166994	14	0.0119281		
TOTAL (CORREGIDO)	7.06476	17			

Método: 95.0 porcentaje LSD

%enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	8.63828	0.0445872	A
1	6	8.79912	0.0445872	B
0	6	10.0245	0.0445872	C

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	1.22535	0.135242
0 - 2	*	1.38618	0.135242
1 - 2	*	0.160833	0.135242

\* indica una diferencia significativa.

**ANOVA y Pruebas de Múltiple Rangos para la capacidad de absorción de agua a 90 °C por % enzima y bloque.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: %enzima	8.13284	2	4.06642	133.34	0.0000
B: BLOQUE	2.71888	1	2.71888	89.15	0.0000
RESIDUOS	0.426961	14	0.0304972		
TOTAL (CORREGIDO)	11.2787	17			

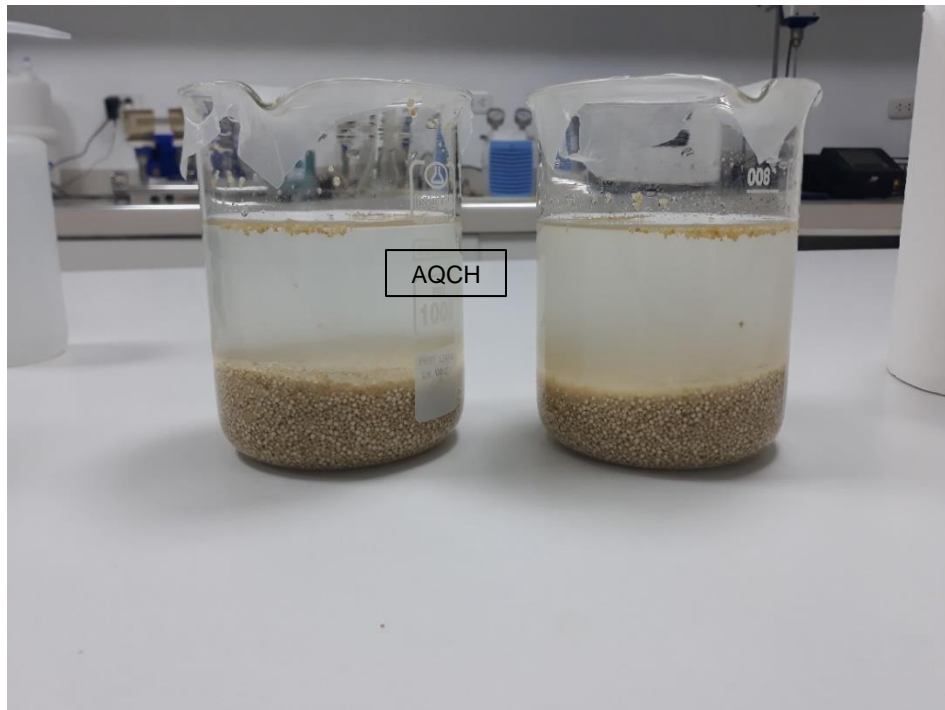
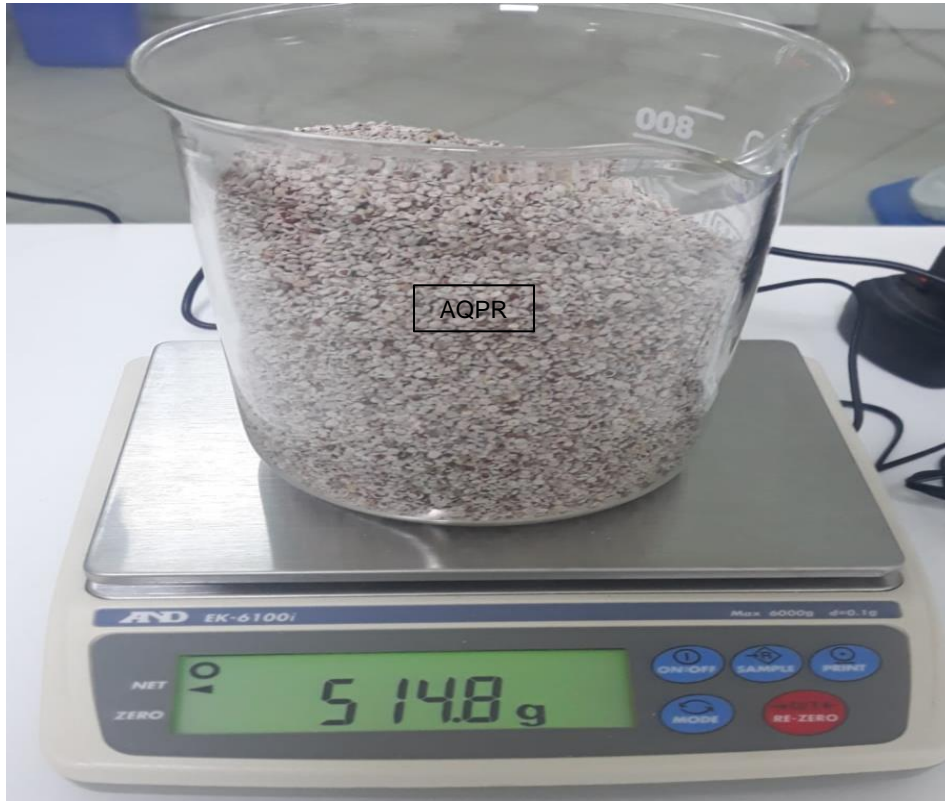
Método: 95.0 porcentaje LSD

%enzima	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	10.0516	0.0712943	A
1	6	10.1666	0.0712943	A
0	6	11.5315	0.0712943	B

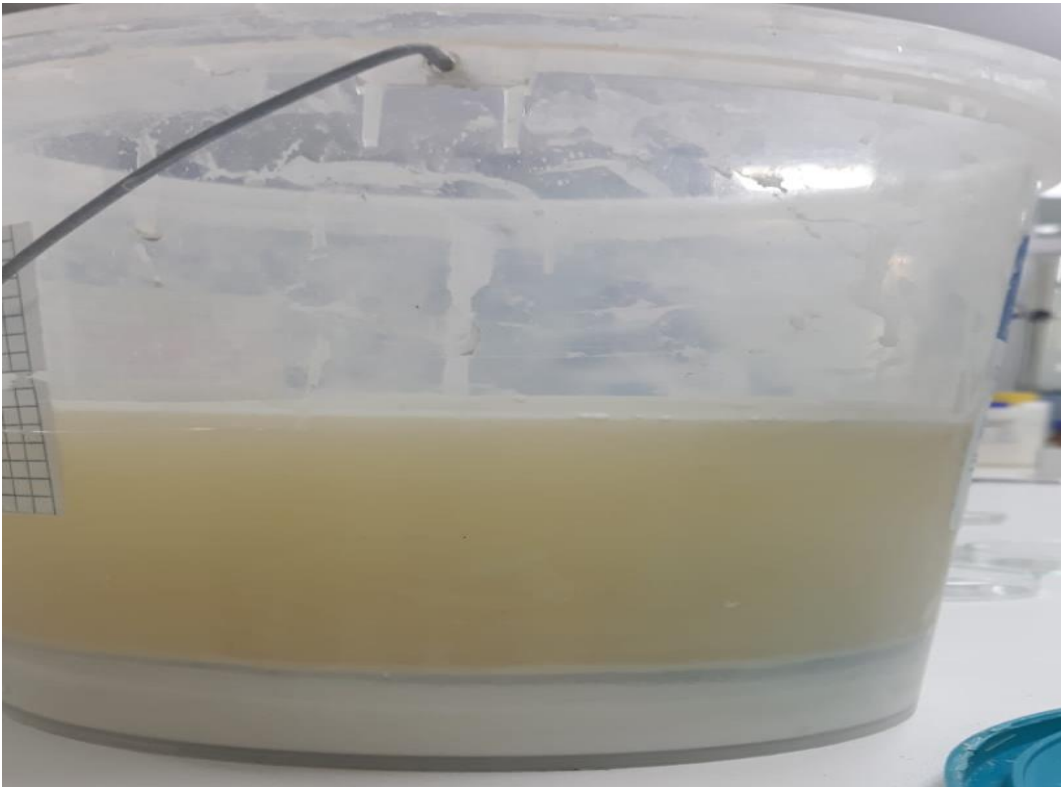
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	1.36493	0.216249
0 - 2	*	1.47992	0.216249
1 - 2		0.114983	0.216249

\* indica una diferencia significativa.

**Anexo 11.** Acondicionamiento de la quinua pasankalla roja y chochito para la extracción del almidón



**Anexo 12. Reducción del tamaño y sedimentado del almidón**



**Anexo 13. Lavado del almidón en la centrifuga**



**Anexo 14. Secado del almidón en la estufa**



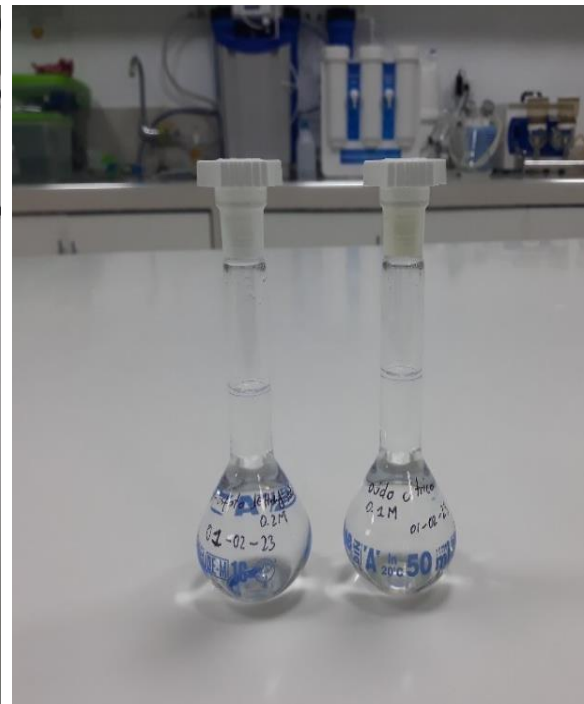
**Anexo 15. Molienda de almidón**



**Anexo 16. Almacenado del almidón**



**Anexo 17. Acondicionamiento para la activación de enzima**





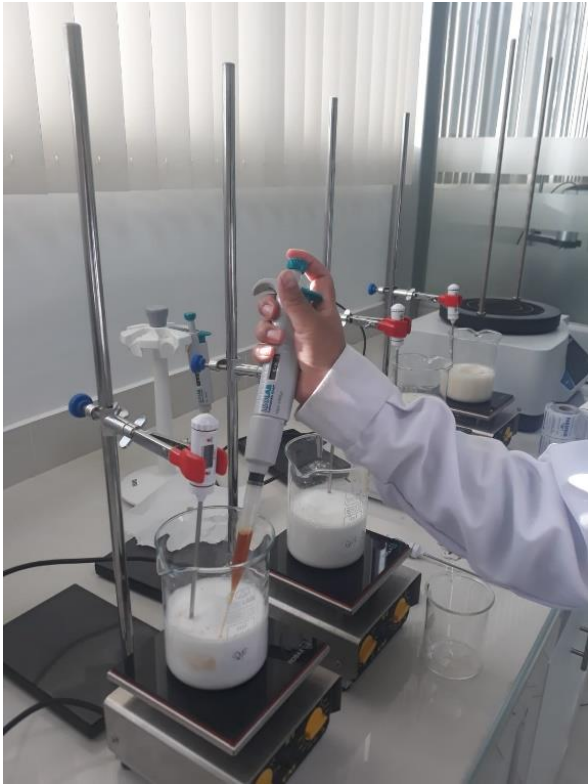
**Anexo 18.** Activación de la enzima en el baño maría



**Anexo 19.** Centrifugado y separación de la enzima



Anexo 20. Modificación enzimática



**Anexo 21. Inactivación de la enzima**



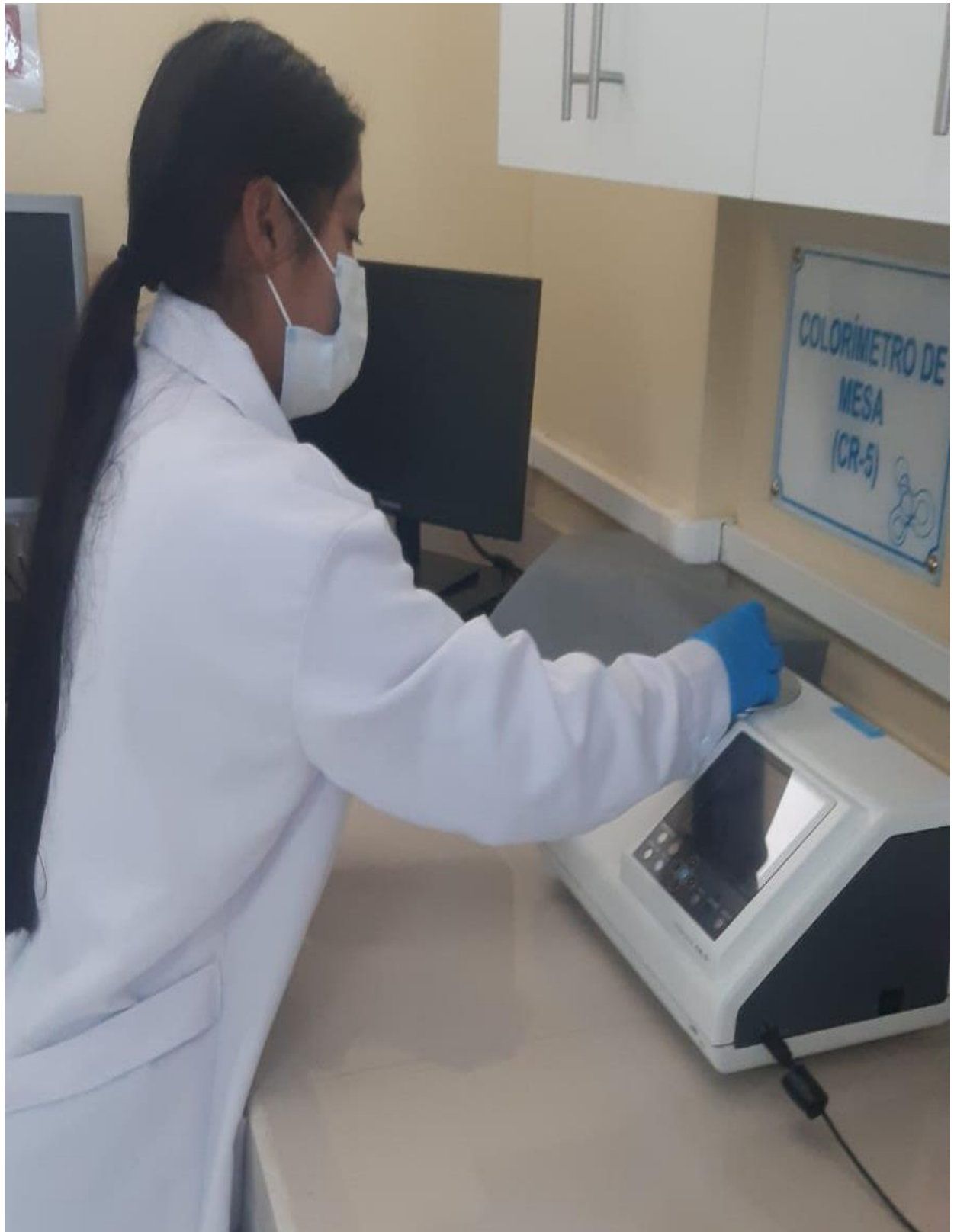
**Anexo 22. Lavado del almidón modificado**



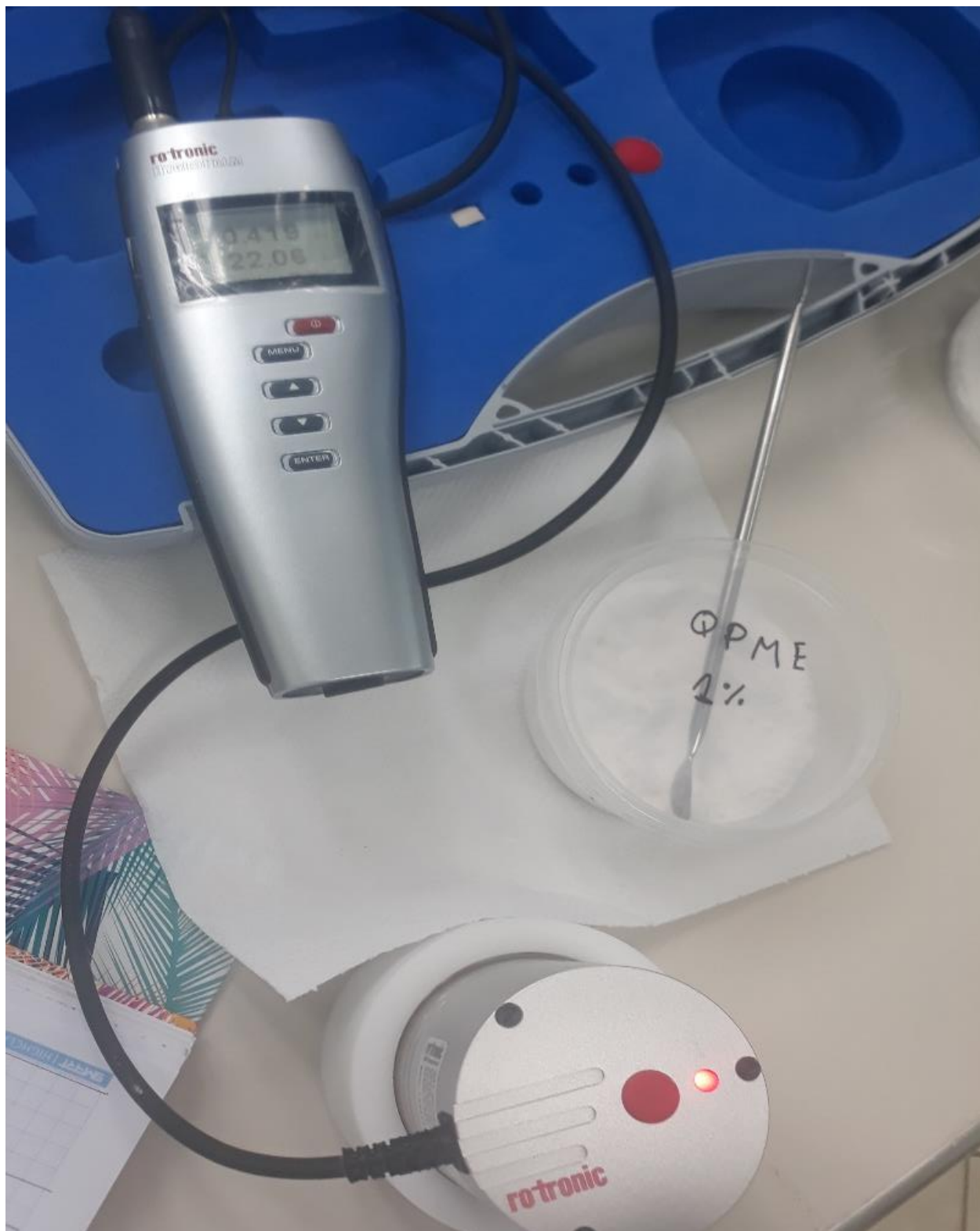
**Anexo 23. Secado y molido del almidón modificado**



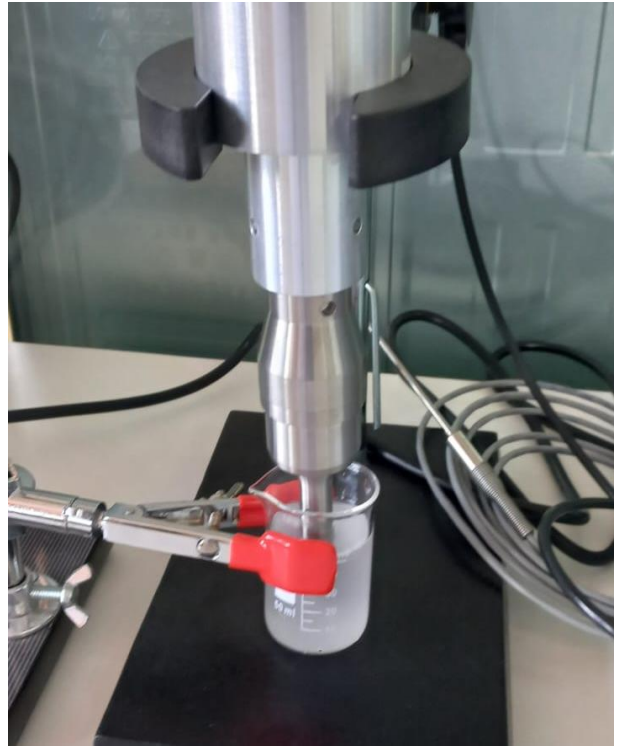
**Anexo 24. Determinación del color**



**Anexo 25.** Determinación de actividad de agua



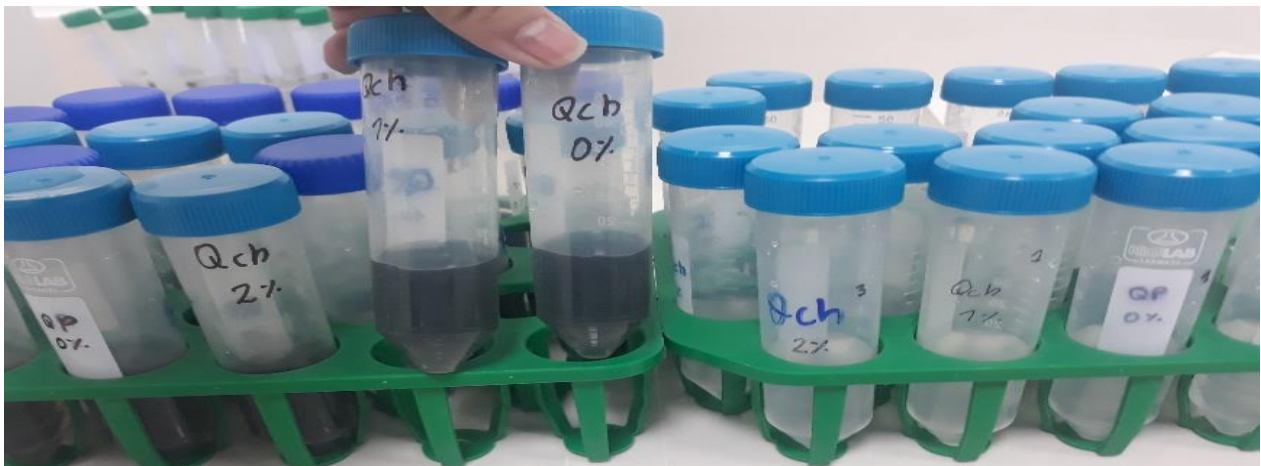
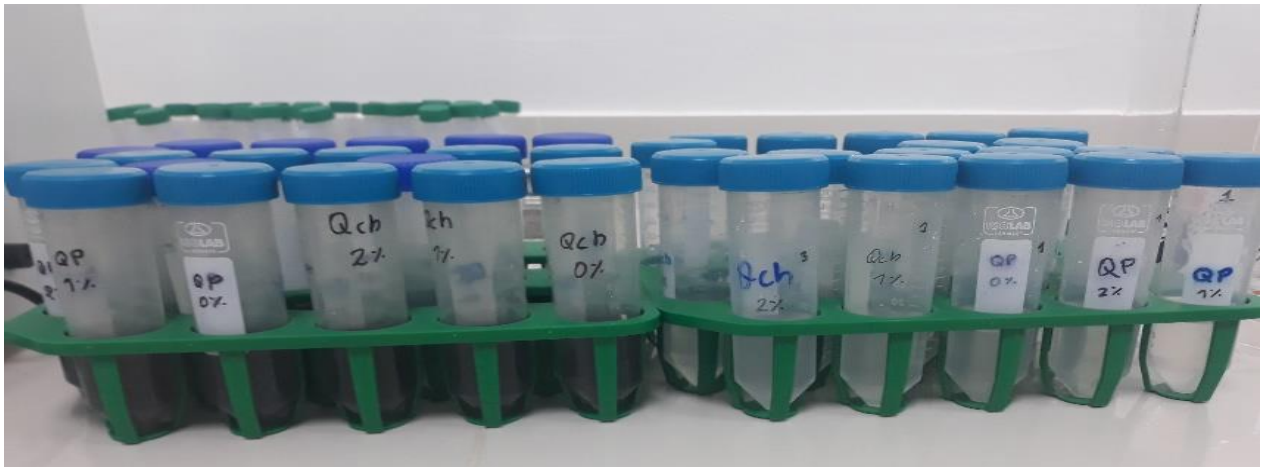
**Anexo 26. Determinación del tamaño**



**Anexo 27. Determinación del potencial  $\zeta$**



**Anexo 28. Determinación de amilosa**

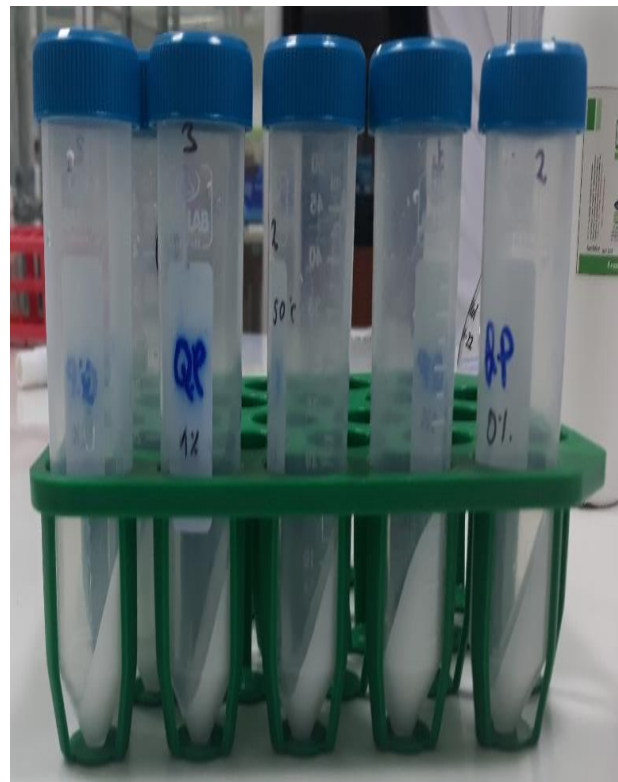
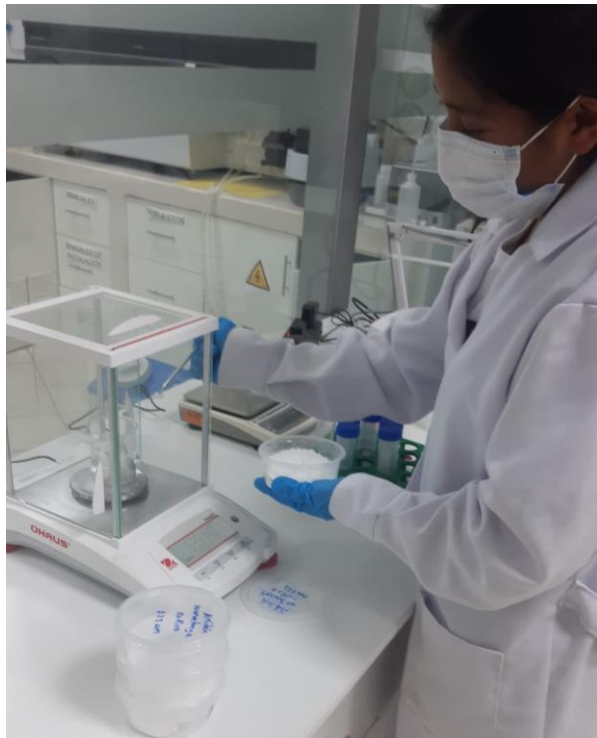




## Anexo 29. Grupos funcionales



**Anexo 30.** Determinación de poder de hinchamiento, solubilidad y capacidad de absorción de agua.



### Anexo 31. Datos para determinar color

muestra	enzima	valor L*	croma a*	croma b*	Índice de blancura	
AQP	0%	92.61	0.05	1.76	92.40	
		92.61	0.05	1.66	92.43	
		92.46	0.05	1.70	92.27	
	1%	93.33	0.25	1.78	93.09	
		93.15	0.23	1.70	92.94	
		93.08	0.24	1.78	92.85	
	2%	93.28	0.36	2.04	92.97	
		93.22	0.34	2.01	92.92	
		93.33	0.34	2.03	93.02	
	AQCH	0%	93.28	-0.25	1.68	93.07
			93.28	-0.23	1.63	93.08
			93.34	-0.22	1.73	93.12
1%		93.79	-0.12	1.65	93.57	
		93.13	-0.13	1.55	92.96	
		93.79	-0.12	1.58	93.59	
2%		93.28	0.32	1.72	93.06	
		93.22	0.34	1.76	92.99	
		93.33	0.31	1.68	93.11	

**Anexo 32.** Datos para determinar actividad de agua

<b>muestra</b>	<b>enzima</b>	<b>Aw</b>	<b>T°</b>	
<b>AQP</b>	<b>0%</b>	0.372	21.96	
		0.372	22.01	
		0.373	22.08	
	<b>1%</b>	0.395	22.06	
		0.398	22.1	
		0.399	22.19	
		0.497	22.21	
		<b>2%</b>	0.495	22.21
			0.495	22.32
	0.496		22.29	
	<b>AQCH</b>	<b>0%</b>	0.496	22.4
			0.491	22.45
0.377			22.47	
<b>1%</b>		0.38	22.5	
		0.381	22.46	
		0.504	22.55	
		<b>2%</b>	0.506	22.58
0.511			22.62	

### Anexo 33. Datos para determinar tamaño de partícula

---

variedad- enzima	tamaño de partícula
AQPR-0%	16.90
AQPR-0%	16.90
AQPR-0%	17.40
AQPR-0%	17.60
AQPR-0%	17.60
AQPR-1%	17.40
AQPR-1%	17.40
AQPR-1%	17.50
AQPR-1%	17.80
AQPR-1%	17.00
AQPR-2%	22.00
AQPR-2%	21.90
AQPR-2%	21.60
AQPR-2%	21.70
AQPR-2%	21.70
AQCH-0%	9.64
AQCH-0%	9.95
AQCH-0%	9.40
AQCH-0%	9.70
AQCH-0%	13.15
AQCH-1%	14.52
AQCH-1%	13.25
AQCH-1%	12.98
AQCH-1%	13.26
AQCH-1%	16.80
AQCH-2%	16.80
AQCH-2%	16.60
AQCH-2%	16.60
AQCH-2%	16.50
AQCH-2%	16.90

---

### Anexo 34. Datos para determinar potencial zeta

---

vaciedad- enzima	Temperatura (°C)	Potencial Zeta (mV)
AQP 0%	25	-27.90
AQP 0%	25	-25.15
AQP 0%	25	-26.19
AQP 1%	25	-42.35
AQP 1%	25	-44.16
AQP 1%	25.01	-44.60
AQP 2%	25	-48.97
AQP 2%	25	-47.99
AQP 2%	25.01	-51.61
AQCH 0%	25	-28.12
AQCH 0%	25	-31.10
AQCH 0%	25	-29.61
AQCH 1%	25	-44.00
AQCH 1%	25	-43.15
AQCH 1%	25	-43.97
AQCH 2%	25	-47.18
AQCH 2%	25	-46.59
AQCH 2%	25	-47.17

---

**Anexo 35. Datos para determinar amilosa y amilopectina**

Variedad	Enzima	Contenido de amilosa	Contenido de amilopectina
AQPR	0	0.20	0.80
	0	0.20	0.80
	0	0.20	0.80
	1	0.20	0.80
	1	0.20	0.80
	1	0.20	0.80
	2	0.21	0.79
	2	0.21	0.79
	2	0.21	0.79
	0	0.30	0.70
AQCH	0	0.30	0.70
	0	0.30	0.70
	1	0.29	0.71
	1	0.29	0.71
	1	0.29	0.71
	2	0.27	0.73
	2	0.27	0.73
	2	0.27	0.73

**Anexo 36.** Datos para determinar temperatura de gelatinización.

Variedad	% Enzima	Temperatura de gelatinización	
AQPR	0	52.83	
		52.51	
		52.70	
	1	55.57	
		55.58	
		55.80	
	2	55.59	
		55.52	
		55.60	
	AQCH	0	58.60
			58.50
			58.46
1		60.21	
		60.09	
		60.22	
2	60.26		
	60.14		
		60.17	



**Anexo 37.** Datos para determinar el poder de hinchamiento, solubilidad y capacidad de absorción de agua

muestra	enzima	Pesos de tubos	Tubos + sedimento	pesos de la placa	placa + muestra	M0	M1	M2	PH (g/g)	S (%)	CAA (g/g)	
50	0%	12.6648	15.8446	46.4455	46.5025	0.6	3.1798	0.0570	5.8560	9.5000	5.2997	
		12.5831	15.8599	47.3408	47.3984	0.6	3.2768	0.0576	6.0413	9.6000	5.4613	
		12.6946	15.9182	48.1462	48.2044	0.6	3.2236	0.0582	5.9498	9.7000	5.3727	
	1%	12.8238	15.5246	45.6106	45.6801	0.6	2.7008	0.0695	5.0910	11.5833	4.5013	
		12.5678	15.2875	47.2554	47.3254	0.6	2.7197	0.0700	5.1315	11.6667	4.5328	
		12.7048	15.4045	45.9638	46.0337	0.6	2.6997	0.0699	5.0928	11.6500	4.4995	
	2%	12.4559	14.9791	45.8755	45.946	0.6	2.5232	0.0705	4.7653	11.7500	4.2053	
		12.7544	15.2129	48.0368	48.1071	0.6	2.4585	0.0703	4.6413	11.7167	4.0975	
		12.6179	15.1755	48.4057	48.4761	0.6	2.5576	0.0704	4.8293	11.7333	4.2627	
	50	0%	12.6327	14.5935	45.823	45.8796	0.6	1.9608	0.0566	3.6084	9.4333	3.2680
			12.7056	14.7401	45.6182	45.6773	0.6	2.0345	0.0591	3.7613	9.8500	3.3908
		1%	12.9069	14.9684	47.3225	47.3797	0.6	2.0615	0.0572	3.7979	9.5333	3.4358
			12.6272	14.44	45.7808	45.8543	0.6	1.8128	0.0735	3.4431	12.2500	3.0213
		1%	12.6787	14.4755	47.3991	47.4726	0.6	1.7968	0.0735	3.4127	12.2500	2.9947
			12.6958	14.5264	47.6821	47.7558	0.6	1.8306	0.0737	3.4782	12.2833	3.0510
2%		12.7696	14.4841	45.737	45.812	0.6	1.7145	0.0750	3.2657	12.5000	2.8575	
		12.8373	14.4993	47.7658	47.8413	0.6	1.6620	0.0755	3.1687	12.5833	2.7700	
			12.5248	14.208	46.2752	46.3506	0.6	1.6832	0.0754	3.2085	12.5667	2.8053
60		0%	12.4872	17.3964	47.6012	47.6648	0.6	4.9092	0.0636	9.1521	10.6000	8.1820
	12.6538		17.5113	46.7635	46.8273	0.6	4.8575	0.0638	9.0591	10.6333	8.0958	
	12.8306		17.5812	46.3455	46.4071	0.6	4.7506	0.0616	8.8236	10.2667	7.9177	
	1%	12.6327	16.9621	51.1533	51.2309	0.6	4.3294	0.0776	8.2875	12.9333	7.2157	
		12.8151	17.1105	47.2547	47.3312	0.6	4.2954	0.0765	8.2052	12.7500	7.1590	
		12.6424	16.9179	46.1794	46.2538	0.6	4.2755	0.0744	8.1345	12.4000	7.1258	
	2%	12.4514	16.7165	47.4444	47.5221	0.6	4.2651	0.0777	8.1660	12.9500	7.1085	
		12.6854	16.8494	45.8748	45.9519	0.6	4.1640	0.0771	7.9633	12.8500	6.9400	
		12.6919	16.8188	47.4913	47.569	0.6	4.1269	0.0777	7.9014	12.9500	6.8782	
	60	0%	12.3216	16.6044	48.0373	48.101	0.6	4.2828	0.0637	7.9858	10.6167	7.1380
12.4762			16.7446	46.9881	47.0503	0.6	4.2684	0.0622	7.9368	10.3667	7.1140	
12.9635			17.2573	46.5123	46.5755	0.6	4.2938	0.0632	7.9989	10.5333	7.1563	
1%		12.6882	16.7648	51.0307	51.1191	0.6	4.0766	0.0884	7.9683	14.7333	6.7943	
		12.7034	16.8356	48.4627	48.546	0.6	4.1322	0.0833	7.9973	13.8833	6.8870	
		12.6664	16.7217	45.8229	45.9039	0.6	4.0553	0.0810	7.8137	13.5000	6.7588	
2%		12.6911	16.606	47.6821	47.7696	0.6	3.9149	0.0875	7.6388	14.5833	6.5248	
		12.8373	16.7848	45.7123	45.8015	0.6	3.9475	0.0892	7.7281	14.8667	6.5792	
		12.4479	16.3417	45.6182	45.7038	0.6	3.8938	0.0856	7.5696	14.2667	6.4897	

		12.524	18.242	48.0366	48.0995	0.6	5.7180	0.0629	10.6461	10.4833	9.5300	
	0%	12.6738	18.3003	48.1456	48.2096	0.6	5.6265	0.0640	10.4972	10.6667	9.3775	
		12.8213	18.3051	45.618	45.6799	0.6	5.4838	0.0619	10.1910	10.3167	9.1397	
		12.5657	17.5785	45.8224	45.8954	0.6	5.0128	0.0730	9.5120	12.1667	8.3547	
	AQPR	1%	12.7447	17.7337	46.9885	47.062	0.6	4.9890	0.0735	9.4758	12.2500	8.3150
			12.7069	17.7149	47.3989	47.4732	0.6	5.0080	0.0743	9.5263	12.3833	8.3467
			12.5286	17.3569	47.3225	47.3973	0.6	4.8283	0.0748	9.1933	12.4667	8.0472
	2%		12.7038	17.5538	45.6099	45.6844	0.6	4.8500	0.0745	9.2293	12.4167	8.0833
			12.6907	17.5296	45.7925	45.8671	0.6	4.8389	0.0746	9.2099	12.4333	8.0648
70			12.3808	17.052	46.4862	46.5495	0.6	4.6712	0.0633	8.7036	10.5500	7.7853
	0%		12.6236	17.2778	45.8462	45.9096	0.6	4.6542	0.0634	8.6735	10.5667	7.7570
			12.8933	17.5501	47.5021	47.5652	0.6	4.6568	0.0631	8.6735	10.5167	7.7613
			12.6628	17.0384	50.6709	50.7699	0.6	4.3756	0.0990	8.7337	16.5000	7.2927
	AQCH	1%	12.6956	17.167	51.7768	51.8727	0.6	4.4714	0.0959	8.8701	15.9833	7.4523
			12.7056	17.1393	46.659	46.7541	0.6	4.4337	0.0951	8.7813	15.8500	7.3895
			12.5438	16.845	47.3222	47.4199	0.6	4.3012	0.0977	8.5630	16.2833	7.1687
	2%		12.8332	17.1499	37.4686	37.5662	0.6	4.3167	0.0976	8.5922	16.2667	7.1945
			12.4505	16.7522	47.6723	47.7704	0.6	4.3017	0.0981	8.5708	16.3500	7.1695
			12.6153	18.6309	46.4446	46.513	0.6	6.0156	0.0684	11.3160	11.4000	10.0260
	0%		12.5704	18.7079	47.3406	47.4089	0.6	6.1375	0.0683	11.5432	11.3833	10.2292
			12.6637	18.7039	51.1575	51.2256	0.6	6.0402	0.0681	11.3559	11.3500	10.0670
			12.5686	17.7678	45.782	45.8589	0.6	5.1992	0.0769	9.9392	12.8167	8.6653
	AQPR	1%	12.8218	18.0574	37.4703	37.5477	0.6	5.2356	0.0774	10.0184	12.9000	8.7260
			12.6999	17.9791	46.274	46.3517	0.6	5.2792	0.0777	10.1076	12.9500	8.7987
			12.5284	17.7095	45.7366	45.8147	0.6	5.1811	0.0781	9.9274	13.0167	8.6352
	2%		12.6895	17.8511	50.6727	50.7508	0.6	5.1616	0.0781	9.8900	13.0167	8.6027
			12.6909	17.8627	45.7666	45.8447	0.6	5.1718	0.0781	9.9096	13.0167	8.6197
80			12.3838	18.2448	46.4862	46.5553	0.6	5.8610	0.0691	11.0397	11.5167	9.7683
	0%		12.6455	18.6881	47.5021	47.5724	0.6	6.0426	0.0703	11.4076	11.7167	10.0710
			12.7429	18.7341	52.3673	52.437	0.6	5.9912	0.0697	11.2978	11.6167	9.9853
			12.6243	17.9908	51.1827	51.2809	0.6	5.3665	0.0982	10.6945	16.3667	8.9442
	AQCH	1%	12.6353	17.9545	46.4028	46.5015	0.6	5.3192	0.0987	10.6108	16.4500	8.8653
			12.6233	17.9004	47.9178	48.0161	0.6	5.2771	0.0983	10.5184	16.3833	8.7952
			12.8436	18.0612	47.766	47.8652	0.6	5.2176	0.0992	10.4185	16.5333	8.6960
	2%		12.7808	17.9557	49.2544	49.3537	0.6	5.1749	0.0993	10.3353	16.5500	8.6248
			12.5029	17.6937	46.567	46.6662	0.6	5.1908	0.0992	10.3650	16.5333	8.6513

		12.7026	19.5682	45.8745	45.9431	0.6	6.8656	0.0686	12.9198	11.4333	11.4427	
	0%	12.6462	19.287	45.7803	45.8492	0.6	6.6408	0.0689	12.5039	11.4833	11.0680	
		12.718	19.6063	47.6815	47.7502	0.6	6.8883	0.0687	12.9650	11.4500	11.4805	
		12.5756	18.3969	44.7565	44.8336	0.6	5.8213	0.0771	11.1327	12.8500	9.7022	
	AQPR	1%	12.8187	18.6322	51.7774	51.8548	0.6	5.8135	0.0774	11.1242	12.9000	9.6892
			12.7116	18.5015	50.8161	50.8931	0.6	5.7899	0.0770	11.0706	12.8333	9.6498
			12.4602	18.2107	47.4919	47.5696	0.6	5.7505	0.0777	11.0100	12.9500	9.5842
	2%	12.703	18.4352	47.6736	47.7513	0.6	5.7322	0.0777	10.9749	12.9500	9.5537	
			12.6833	18.4318	44.4215	44.4993	0.6	5.7485	0.0778	11.0082	12.9667	9.5808
90			12.5912	19.6449	36.0253	36.0963	0.6	7.0537	0.0710	13.3340	11.8333	11.7562
	0%	12.6737	19.7035	45.9137	45.9848	0.6	7.0298	0.0711	13.2914	11.8500	11.7163	
		12.3201	19.3553	46.244	46.3154	0.6	7.0352	0.0714	13.3091	11.9000	11.7253	
		12.6648	19.0696	48.5193	48.6185	0.6	6.4048	0.0992	12.7891	16.5333	10.6747	
	AQCH	1%	12.7066	19.0794	45.8457	45.9448	0.6	6.3728	0.0991	12.7227	16.5167	10.6213
			12.725	19.1223	45.6531	45.7524	0.6	6.3973	0.0993	12.7767	16.5500	10.6622
			12.766	19.0788	46.2304	46.3306	0.6	6.3128	0.1002	12.6307	16.7000	10.5213
	2%	12.7705	19.1084	34.1131	34.2139	0.6	6.3379	0.1008	12.6961	16.8000	10.5632	
			12.513	18.8168	46.8163	46.9169	0.6	6.3038	0.1006	12.6227	16.7667	10.5063

## Anexo 32. Matriz de consistencia

Formulación de problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Instrumento de medición
<p>PG: ¿Cómo serán las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) modificados a diferentes concentraciones de enzimas?</p> <p>PE 1: ¿Cómo serán las propiedades físicas de los almidones de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) modificados a diferentes concentraciones de enzimas?</p> <p>PE 2: ¿Cómo serán las propiedades químicas de los almidones de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) modificados a diferentes concentraciones de enzimas?</p>	<p>OG: Evaluar las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones de quinua (<i>chenopodium quinoa Willd</i>) modificados a diferentes concentraciones de enzimas.</p> <p>OE 1: Determinar las propiedades físicas de almidones de quinua (<i>chenopodium quinoa Willd</i>) modificados a diferentes concentraciones de enzimas.</p> <p>OE 2: Determinar las propiedades químicas de almidones de quinua (<i>chenopodium quinoa Willd</i>) modificados a diferentes concentraciones de enzimas.</p>	<p>HG: Los almidones de quinua (<i>chenopodium quinoa Willd</i>) modificados enzimáticamente presentan mejores propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales que los almidones modificados al 0 %.</p> <p>HE 1: Los almidones de quinua (<i>chenopodium quinoa Willd</i>) modificados enzimáticamente presentan mejores propiedades físicas que los almidones modificados al 0 %.</p> <p>HE 2: Los almidones de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) modificados enzimáticamente presentan excelentes propiedades químicas que los almidones modificados al 0 %.</p>	<p>Color</p> <p>Actividad de agua</p> <p>Tamaño de partícula</p> <p>potencial <math>\zeta</math></p> <p>Amilosa, amilopectina</p> <p>Grupos funcionales</p>	<p>Colorímetro</p> <p>Determinador de Aw - Rotronic</p> <p>Mastersizer 3000 Zetasizer ZSU3100</p> <p>Espectrofotómetro UV-vis Indirecto</p> <p>FTIR</p>

Formulación de problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Instrumento de medición
<p>PE 3:</p> <p>¿Cómo serán las propiedades tecnofuncionales de los almidones de quinua (<i>chenopodium quinoa Willd</i>) modificados a diferentes concentraciones de enzimas?</p>	<p>OE 3:</p> <p>Determinar las propiedades tecnofuncionales de almidones de quinua (<i>chenopodium quinoa Willd</i>) modificados a diferentes concentraciones de enzimas.</p>	<p>HE 3:</p> <p>Los almidones de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) modificados enzimáticamente presentan mejores propiedades tecnofuncionales que los almidones modificados al 0 %.</p>	<p>Poder de hinchamiento</p> <p>Solubilidad</p> <p>Capacidad de absorción de agua y temperatura de gelatinización</p>	<p>termogravimétrico</p> <p>termogravimétrico</p> <p>termogravimétrico</p> <p>termogravimétrico</p>