

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



Presentado por:

**Br. RAFAEL RAMIREZ VENEGAS**

**PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TECNOLÓGICAS**  
**DE ALMIDONES DE PAPA (*Solanum tuberosum*)**  
**MODIFICADOS POR ESTERIFICACIÓN**

Asesor:

**Dra. BETSY SURI RAMOS PACHECO**

Co-Asesor:

**Dr. CARLOS ALBERTO LIGARDA SAMANEZ**

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

**ANDAHUAYLAS – APURÍMAC -PERÚ**

**2023**

**Financiado por el Vicerrectorado de Investigación**



## APROBACIÓN DEL ASESOR

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

**CERTIFICA,**  
Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial Rafael Ramírez Venegas ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: "PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TECNOFUNCIONALES DE ALMIDONES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) MODIFICADOS POR ESTERIFICACIÓN" para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Andahuaylas 13 de octubre del 2023

---

Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco  
**Asesor**

---

Br. Rafael Ramírez Venegas  
**Tesista**



## APROBACIÓN DEL CO-ASESOR

Quién suscribe:  
Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez  
por la presente:

**CERTIFICA,**  
Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial Rafael Ramírez Venegas ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado: "PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TECNOFUNCIONALES DE ALMIDONES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) MODIFICADOS POR ESTERIFICACIÓN" para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Andahuaylas 13 de octubre del 2023

  
Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez  
**Co-Asesor**

  
Br. Rafael Ramírez Venegas  
**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 11:00 horas del día viernes 04 de agosto del año 2023, se reunieron los docentes: Dr. David Choque Quispe, Mag. Fredy Taipe Pardo, Mag. Henry Palomino Rincón, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TECNOLÓGICAS DE ALMIDONES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) MODIFICADOS POR ESTERIFICACIÓN", cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **RAFAEL RAMÍREZ VENEGAS**, la asesora Mag. Betsy Suri Ramos Pacheco y el coasesor Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez, 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 Unanimitad al Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **RAFAEL RAMÍREZ VENEGAS**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
19	Diecinueve	Excelente

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

.....  
Dr. David Choque Quispe  
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: “PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TECNOFUNCIONALES DE ALMIDONES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) MODIFICADOS POR ESTERIFICACIÓN”; para optar el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL, ha sido evaluado por el Jurado Dictaminador conformado por:

PRESIDENTE: Dr. David Choque Quispe

PRIMER MIEMBRO: Mg. Fredy Taípe Pardo

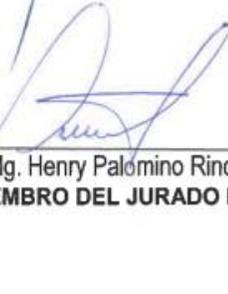
SEGUNDO MIEMBRO: Mg. Henry Palomino Rincón.

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

Andahuaylas, 07 de agosto de 2023

  
\_\_\_\_\_  
Dr. David Choque Quispe  
**PRESIDENTE DEL JURADO DICTAMINADOR**

  
\_\_\_\_\_  
Mg. Fredy Taípe Pardo  
**PRIMER MIEMBRO DEL JURADO DICTAMINADOR**

  
\_\_\_\_\_  
Mg. Henry Palomino Rincón  
**SEGUNDO MIEMBRO DEL JURADO DICTAMINADOR**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

El que suscribe asesor del trabajo de investigación, titulado: **“PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TECNOFUNCIONALES DE ALMIDONES DE PAPA(*Solanum tuberosum*) MODIFICADOS POR ESTERIFICACIÓN”** presentado por el Br. Rafael Ramirez Venegas, con DNI N° 73300585, 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 12% de similitud general.

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

Andahuaylas 13 de octubre del 2023



---

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

## INFORME DE ORIGINALIDAD

El que suscribe co-asesor del trabajo de investigación, titulado: **“PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TECNOFUNCIONALES DE ALMIDONES DE PAPA(*Solanum tuberosum*) MODIFICADOS POR ESTERIFICACIÓN”** presentado por el Br. Rafael Ramirez Venegas, con DNI N° 73300585, 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 12% de similitud general.

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

Andahuaylas 13 de octubre del 2023



---

Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez  
**Co-Asesor de tesis**  
**DNI: 31190026**  
**ORCID: 0000-0001-7519-8355**



Universidad Nacional José María Arguedas

Identidad y Excelencia para el Trabajo Productivo y el Desarrollo

Unidad de Investigación de la Facultad Ingeniería  
C013-2023

Andahuaylas, 10 de octubre de 2023

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

## Constancia

De porcentaje de similitud (12%) según el software Turnitin, al informe final de investigación: Propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones de papa (*Solanum tuberosum*) modificados por esterificación. Presentado por el Bach. Rafael Ramírez Venegas cuya Asesora es la Mag. Betsy Suri Ramos Pacheco.

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

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

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

C.c  
Archivo.

NOMBRE DEL TRABAJO

**PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y TECNOLÓGICAS DE ALMIDONES DE PATATA (Solanum tuberosum) MODIFICADO**

AUTOR

**Rafael Ramírez Venegas**

RECuento DE PALABRAS

**33461 Words**

RECuento DE CARACTERES

**171103 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**136 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.7MB**

FECHA DE ENTREGA

**Oct 13, 2023 12:04 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Oct 13, 2023 12:05 PM GMT-5**

● **12% de similitud general**

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

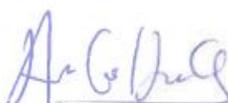
- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

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



Ing. Juan Patricio  
CIP: 10542963



Rafael Ramírez Venegas  
73300585



Ing. Carlos Alberto Ligarda Samanez  
CIP: 105639

● **12% de similitud general**

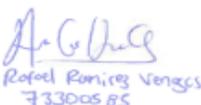
Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Cross

FUENTES PRINCIPALES

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

1	<b>hdl.handle.net</b> Internet	3%
2	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Internet	<1%
3	<b>repositorio.unajma.edu.pe</b> Internet	<1%
4	<b>repositorio.unh.edu.pe</b> Internet	<1%
5	<b>repositorio.lamolina.edu.pe</b> Internet	<1%
6	<b>coursehero.com</b> Internet	<1%
7	<b>casadelibrosabiertos.uam.mx</b> Internet	<1%
8	<b>eprints.ucm.es</b> Internet	<1%
9	<b>bdigital.unal.edu.co</b> Internet	<1%


Descripción general de fuentes

Reporte de similitud

10	<b>bdigital.uncu.edu.ar</b> Internet	<1%
11	<b>repositorio.upt.edu.pe</b> Internet	<1%
12	<b>mcta.uas.edu.mx</b> Internet	<1%
13	<b>dspace.unach.edu.ec</b> Internet	<1%
14	<b>ri.conicet.gov.ar</b> Internet	<1%
15	<b>tesis.ipn.mx</b> Internet	<1%
16	<b>handbook.usfx.bo</b> Internet	<1%
17	<b>dspace.uclv.edu.cu</b> Internet	<1%
18	<b>studysmarter.es</b> Internet	<1%
19	<b>repositorio.upn.edu.pe</b> Internet	<1%
20	<b>repository.cimmyt.org</b> Internet	<1%
21	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Internet	<1%



Ing. Delys & Niamos Pacheco  
CIP: N° 142943

Rafael Ramirez Venegas  
73300585



Ing. Carlos Alberto Liganda Samaniez  
CIP: 105639

Descripción general de fuentes

22	<b>1library.co</b> Internet	<1%
23	<b>crq.gov.co</b> Internet	<1%
24	<b>repositorio.unas.edu.pe</b> Internet	<1%
25	<b>dspace.uce.edu.ec</b> Internet	<1%
26	<b>slideshare.net</b> Internet	<1%
27	<b>dokumen.pub</b> Internet	<1%
28	<b>ciqa.repositorioinstitucional.mx</b> Internet	<1%
29	<b>repositorio.upeu.edu.pe</b> Internet	<1%
30	<b>repository.uamerica.edu.co</b> Internet	<1%
31	<b>grafiati.com</b> Internet	<1%
32	<b>docslib.org</b> Internet	<1%
33	<b>Miguel Angel Alarcón-García, Jose Angel Perez-Alvarez, Jairo Humbert...</b> Crossref	<1%



Ing. Betty S. Ramos Pacheco  
CIP: N° 142943

Rafael Ramirez Venegas  
73300585



Ing. Carlos Alberto Ligarda Samayez  
CIP: 105620

Descripción general de fuentes

34

**biblat.unam.mx**

Internet

<1%

*Arce Duran*  
Rafael Ramirez Venegas  
73300585

  
*Willy S. Ramos Pacheco*  
Ing. Willy S. Ramos Pacheco  
CIP: N° 142943

  
*Carlos Alberto Ligarda Samánez*  
Ing. Carlos Alberto Ligarda Samánez  
CIP: 105639

## **DEDICATORIA**

A Dios por permitirme tener una maravillosa familia especialmente a mis queridos padres Sergio Ramírez Taípe y Pilar Venegas Sivipaucar, por el amor y apoyo incondicional que me brindaron durante toda mi formación académica, ya que sin ellos no sería posible este logro, así mismo a mi hermana menor Maricel Ramírez Venegas y sobrino Jack Miguel Ramírez Papa, que son una motivación para seguir adelante y ser un ejemplo a seguir para ellos.

Así mismo a mi abuelita Constantina Silvera Venegas por su constante apoyo incondicional de la misma manera a mi hermano mayor Aníbal Ramírez Venegas por los consejos y apoyo. También a mi abuelita Tadea Venegas Vargas, aunque ya no esté presente sé que está orgullosa por mis logros.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis queridos padres Sergio y Pilar, gracias al sacrificio y esfuerzo que hicieron por la educación que me dieron para poder lograr mis metas, así mismo por su apoyo incondicional.

A la Universidad Nacional José María Arguedas por el financiamiento del presente trabajo de investigación, así mismo a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA), a todos los docentes que me enseñaron durante mi formación profesional.

A mis asesores Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco al Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez, por el tiempo y dedicación en apoyarme durante todas las etapas de desarrollo del presente proyecto de investigación, sin su apoyo no hubiera sido posible.

A mis jurados evaluadores Dr. David Choque Quispe, Mg. Henry Palomino Rincón y Mg. Fredy Taípe Pardo, por sus correcciones y recomendaciones al trabajo de investigación, gracias al aporte de sus conocimientos así poder realizar un buen trabajo de investigación.

Al Laboratorio de Investigación de Nanotecnología de Alimentos (LINA), operado por la Ing. Elibet Moscoso Moscoso, por darme todas las facilidades para realizar las corridas correspondientes del presente trabajo de investigación.

Al Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos (LIMTA) operado por la Dra. Yudith Choque Quispe por las facilidades brindadas así mismo su enseñanza en el uso de los diferentes equipos.

A mis amigos y compañeros Mabel, Jhor, Jhoel, Fiorella, Ceyli, Yesica y Carlos Daniel por la motivación y apoyo a seguir creciendo profesionalmente.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	XIV
AGRADECIMIENTOS .....	XV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XX
SÍMBOLOS, UNIDADES Y ABREVIATURAS .....	XXI
RESUMEN.....	XXIII
ABSTRAC .....	XXIV
CHUMASQA.....	XXV
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1. Planteamiento del problema.....	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.....	3
1.4. Objetivos de la investigación .....	4
1.4.1. Objetivo general .....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Formulación de hipótesis.....	5
1.5.1. Hipótesis general .....	5
1.5.2. Hipótesis específicas .....	5
CAPITULO II: ANTECEDENTES .....	6
1.6. Marco teórico .....	6
1.6.1. Antecedentes internacionales .....	6
1.6.2. Antecedentes nacionales.....	9
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO .....	13
1.7. Bases teóricas .....	13
1.7.1. Papa .....	13
1.7.2. Almidón.....	13

1.7.3. Amilosa .....	14
1.7.4. Amilopectina .....	15
1.7.5. Composición química del almidón.....	16
1.7.6. Usos de los almidones .....	16
1.7.7. Modificación de almidones .....	17
1.7.8. Tipos de modificación .....	17
1.7.9. Esterificación.....	19
1.8. Propiedades físicas del almidón .....	19
1.8.1. Color.....	19
1.8.2. Humedad .....	20
1.8.3. Actividad de agua (Aw) .....	21
1.8.4. Tamaño de partícula .....	21
1.9. Propiedades químicas del almidón.....	22
1.9.1. pH.....	22
1.9.2. Grado de sustitución.....	22
1.9.3. Grupos funcionales.....	22
1.9.4. Potencial zeta.....	22
1.10. Propiedades tecnofuncionales del almidón .....	23
1.10.1. Temperatura de gelatinización .....	23
1.10.2. Sinéresis.....	24
1.10.3. Poder de hinchamiento .....	24
1.10.4. Solubilidad.....	25
1.11. Características estructurales del almidón .....	25
1.12. Marco conceptual .....	26
CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	29
2. Materiales y Métodos.....	29
2.1. Lugar de ejecución .....	29
2.2. Identificación de variables.....	29
2.2.1. Variables independientes.....	29
2.2.2. Variables dependientes.....	29
2.3. Materiales, instrumentos y equipos .....	29

2.4.	Población y muestra .....	32
2.4.1.	Población .....	32
2.4.2.	Muestra.....	32
2.4.3.	Tipo de muestreo .....	32
2.5.	Tipo de investigación .....	32
2.6.	Metodología experimental.....	32
2.6.1.	Proceso de extracción del almidón de papa.....	32
2.6.2.	Proceso de modificación del almidón de papa con AOS .....	35
2.7.	Métodos de análisis .....	37
2.7.1.	Propiedades físicas .....	37
2.7.2.	Propiedades químicas .....	38
2.7.3.	Propiedades tecnofuncionales .....	41
2.8.	Diseño experimental.....	44
CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES .....		46
2.9.	Propiedades físicas .....	46
2.9.1.	Color de almidón nativo y modificado.....	46
2.9.2.	Índice de blancura de almidón nativo y modificado .....	47
2.9.3.	Humedad del almidón nativo y modificado .....	48
2.9.4.	Actividad de agua del almidón nativo y modificado.....	50
2.9.5.	Tamaño de partícula de almidón nativo y modificado .....	51
2.10.	Propiedades químicas .....	52
2.10.1.	Grupos funcionales de almidón nativo y modificado.....	52
2.10.2.	pH del almidón nativo y modificado.....	53
2.10.3.	Amilosa y amilopectina del almidón nativo y modificado.....	55
2.10.4.	Grado de sustitución de almidón nativo y modificado.....	56
2.11.	Propiedades tecnofuncionales .....	57
2.11.1.	Temperatura de gelatinización del almidón nativo y modificado .....	57
2.11.2.	Sinéresis del almidón nativo y modificado .....	59
2.11.3.	CAA, PH y S del almidón nativo y modificado .....	60
2.12.	Potencial zeta de almidón nativo y modificado.....	63
CAPITULO VI: CONCLUSIONES .....		65

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXOS.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Composición química proximal de diferentes variedades de almidones .....	16
<b>Tabla 2</b> Valores del potencial zeta .....	23
<b>Tabla 3</b> Características de los gránulos de almidón de diferentes productos.....	26
<b>Tabla 4</b> Materiales .....	29
<b>Tabla 5</b> Instrumentos .....	30
<b>Tabla 6</b> Equipos.....	31
<b>Tabla 7</b> Reactivos .....	31
<b>Tabla 8</b> Matriz de diseño .....	44
<b>Tabla 9</b> Valores del color L a* b* .....	46
<b>Tabla 10</b> Índice de blancura (%) .....	47
<b>Tabla 11</b> Contenido de humedad (%).....	49
<b>Tabla 12</b> Contenido de actividad de agua .....	50
<b>Tabla 13</b> Tamaño de partícula (µm).....	51
<b>Tabla 14</b> pH.....	54
<b>Tabla 15</b> Contenido de amilosa y amilopectina (%) .....	55
<b>Tabla 16</b> Grado de sustitución.....	56
<b>Tabla 17</b> Temperatura de gelatinización (°C) .....	58
<b>Tabla 18</b> Sinéresis (%) .....	59
<b>Tabla 19</b> Capacidad de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad.....	61
<b>Tabla 20</b> Potencial zeta (mV).....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Estructura química de la amilosa.....	14
<b>Figura 2</b> Estructura química de la amilopectina.....	15
<b>Figura 3</b> Tipos de modificación química .....	18
<b>Figura 4</b> <i>Representación en el plano horizontal de color <math>L^* a^* b^*</math></i> .....	20
<b>Figura 5</b> Representación tridimensional del espacio de color $L^* a^* b^*$ .....	20
Figura 6 Diagrama de flujo extracción de almidón de papa .....	34
Figura 7 Diagrama de flujo modificación de almidón AOS .....	36
<b>Figura 8</b> <i>Espectro IR de almidón nativo y modificado variedad peruanita</i> .....	52
<b>Figura 9</b> Espectro IR de almidón nativo y modificado variedad putis.....	53

## SÍMBOLOS, UNIDADES Y ABREVIATURAS

AOS	: Anhidrido Octenil Succínico
L	: litro
Kg	: kilogramo
g	: gramo
mL	: mililitro
h	: hora
°C	: grados Celsius
Rpm	: revoluciones por minuto
Sig.	: significancia
S	: desviación estándar
$\bar{x}$	: promedio muestral
CV	: coeficiente de variabilidad
GS	: grado de sustitución
N	: normalidad
M	: molaridad
min	: minutos
FTIR	: Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier
nm	: nano metro
$\mu\text{m}$	: micro metro
p/p	: relación peso peso
p/v	: relación peso volumen
v/v	: relación volumen volumen
Aw	: actividad de agua
CAA	: capacidad de absorción de agua
PH	: poder de hinchamiento
Sol	: solubilidad
DBCA	: Diseño de Bloques Completamente al Azar
PE0%	: almidón nativo de papa variedad peruanita sin modificación

PE1.5% : almidón modificado con AOS al 1.5% de papa variedad peruanita

PE3% : almidón modificado con AOS al 3% de papa variedad peruanita

PU0% : almidón nativo de papa variedad putis sin modificación

PU1.5% : almidón modificado con AOS al 1.5% de papa variedad putis

PU3% : almidón modificado con AOS al 3% de papa variedad putis

## RESUMEN

El almidón es un polisacárido de reserva alimenticia mayoritario en las plantas, tienen una gran rama de aplicaciones en la industria alimentaria. Sin embargo, estos almidones en su forma nativa presentan muchas limitaciones, por ello se modifican para mejorar sus propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales. El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones de papa nativos y modificados por esterificación de la variedad peruanita y putis. Los almidones se modificaron por esterificación a concentraciones de AOS 0%, 1.5% y 3% (p/p). Se determinó el color, índice de blancura, humedad actividad de agua, tamaño de partícula, grupos funcionales, pH, amilosa, amilopectina, grado de sustitución, temperatura de gelatinización, sinéresis, capacidad de absorción de agua, poder de hinchamiento, solubilidad y potencial zeta.

Los almidones presentaron valores de luminosidad entre 90.15 a 92.82, croma  $a^*$  -0.33 a 0.20 y croma  $b^*$  de 1.98 a 3.41, mientras que el índice de blancura se incrementó con la modificación; el contenido de humedad osciló entre 8.39 a 9.71% y la actividad de agua presentó valores menores a 0.405, en cuanto al tamaño de partícula la modificación incrementó el tamaño de los gránulos del almidón, por otro lado el análisis FTIR evidenció la presencia del grupo hidroxilo OH en el pico  $3442\text{ cm}^{-1}$ , el pico  $1466\text{ cm}^{-1}$  corresponde al metileno y el pico  $930\text{-}1155\text{ cm}^{-1}$  corresponde al grupo funcional carbonilo, el pH aumentó con la modificación, con respecto al contenido de amilosa este disminuyó y la amilopectina se incrementó, en cuanto al grado de sustitución osciló entre 0.0111 a 0.0167. Las propiedades tecnofuncionales como la temperatura de gelatinización disminuyó con la modificación, asimismo la sinéresis, la capacidad de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad en agua mostraron incrementos con la modificación y el potencial zeta presentó una estabilidad media. La modificación por esterificación con AOS permitió mejorar algunas de las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de los almidones nativos, considerados como buena alternativa para la industria alimentaria como encapsulantes, emulsificantes, estabilizantes y gelificantes.

**Palabras clave:** Esterificación, sinéresis, potencial zeta modificación química, almidón nativo, almidón modificado.

## ABSTRAC

Starch is a major food reserve polysaccharide in plants, it has a wide range of applications in the food industry. However, these starches in their native form have many limitations, which is why they are modified to improve their physical, chemical and techno-functional properties. The objective of this research work was to evaluate the physical, chemical and techno-functional properties of native potato starches and modified by esterification of the peruanita and putis varieties. Starches were modified by esterification at OSA concentrations 0%, 1.5% and 3% (w/v). The color, whiteness index, humidity, water activity, particle size, functional groups, pH, amylose, amylopectin, degree of substitution, gelatinization temperature, syneresis, water absorption capacity, swelling power, solubility and potential. zeta. The starches presented luminosity values between 90.15 to 92.82, chroma  $a^*$  -0.33 to 0.20 and chroma  $b^*$  from 1.98 to 3.41, while the whiteness index increased with the modification; The moisture content ranged between 8.39 to 9.71% and the water activity presented values less than 0.405. Regarding the particle size, the modification increased the size of the starch granules. On the other hand, the FTIR analysis showed the presence of the hydroxyl group. OH in the peak 3442  $\text{cm}^{-1}$ , the peak 1466  $\text{cm}^{-1}$  corresponds to methylene and the peak 930-1155  $\text{cm}^{-1}$  corresponds to the carbonyl functional group, the pH increased with the modification, with respect to the amylose content it decreased and the Amylopectin increased, as the degree of substitution ranged between 0.0111 to 0.0167. Technofunctional properties such as gelatinization temperature decreased with the modification, also syneresis, water absorption capacity, swelling power and water solubility showed increases with the modification and the zeta potential presented medium stability. The modification by esterification with OSA allowed to improve some of the physical, chemical and techno-functional properties of native starches, considered as a good alternative for the food industry as encapsulants, emulsifiers, stabilizers and gelling agents.

**Keywords:** Esterification, syneresis, zeta potential chemical modification, native starch, modified starch.

## CHUMASQA

Almidón nisqanqa plantakunapi achka waqaychasqa polisacárido nisqa, mikuy industriapi achka llamk'ayniyuqmi. Ichaqa kay almidón nisqakunaqa forma nativa nisqapiqa achka limitacionniyuqmi, chaymi modificasqa kanku propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales nisqa allin kananpaq. Kay investigacionpa munayninqa karqan papa almidón nativo nisqapa propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales nisqa chaninchanapaqmi, chaymantapas esterificación nisqawanmi modificasqa karqan chay variedades peruanita y putis nisqamanta. Almidón nisqakunaqa esterificación nisqawanmi tikrasqa karqan, concentraciones de AOS 0%, 1,5% y 3% (p/v) nisqapi. Chay llimpi, yuraq kaynin, humedad, yakupa ruwaynin, partícula nisqapa sayaynin, grupos funcionales, pH, amilosa, amilopectina, grado de sustitución, temperatura de gelatinización, sineresis, yaku absorciónin, punkiy atiyin, solubilidad hinaspas potencial zeta nisqankunatam tariparukun.

Chay almidón nisqakunam qawarichirqaku valores de luminosidad nisqakunata 90,15 manta 92,82 kama, croma a\* -0,33 manta 0,20 kama chaynallataq croma b\* 1,98 manta 3,41 kama, chaymantam índice de yuraq kaynin yapakurqa chay modificación nisqawan; Chay humedad nisqa 8,39 manta 9,71% kamam kasqa, chaymantam yakupa ruwayninca 0,405 manta urayllaman karun, chay particulakunapa sayayninmanta rimaspaqa, chay modificacin nisqa almidón gránulo nisqapa sayaynintam yaparurqa, hukninpiqa, analisis FTIR nisqapim qawariturqa chay grupo hidroxilo OH nisqapa kayninta chay pico  $3442\text{ cm}^{-1}$  nisqapi, chay pico  $1466\text{ cm}^{-1}$  nisqataqmi tupan metileno nisqawan chaymanta chay pico  $930\text{-}1155\text{ cm}^{-1}$  nisqa carbonilo funcional nisqa, chaymi pH nisqa yapakurqa chay modificación nisqawan, Contenido de amilosa pisiyarqa chay amilopectina yapakurqa, grado de sustitución nisqamanta 0,0111 manta 0,0167 kama. Propiedades tecnofuncionales nisqakunam temperatura gelatinización nisqapa pisiyarurqa chay modificación nisqawan, chaynallataqmi sineresis nisqanpas, yaku absorción nisqa , punkiy atiyin chaynallataq yakupi solubilidad nisqapas yaparqurqa chay modificación nisqawan, chay potencial zeta nisqanñataq media estabilidad nisqatam qawarichirqa. Chay modificación esterificación nisqawan AOS allincharun wakin propiedades físicas, químicas y tecno-funcionales nisqakunata almidon nativo nisqampata, allin alternativa industria alimentaria nisqapaq kananpaq encapsulantes, emulsionantes, estabilizadores y agentes gelificantes nisqampaq.

**Tiksi rimaykuna:** Esterificación, sinéresis, potencial zeta, modificación química, almidón modificado, almidón nativo.

## INTRODUCCIÓN

El Perú tiene una gran diversidad biológica, es el principal país productor de papa de Latinoamérica esta materia prima es abundante para su aprovechamiento. El almidón nativo de papa como tal, sin ninguna modificación presenta muchas limitaciones para su uso en la industria alimentaria como bajo poder de hinchamiento, baja solubilidad en agua, baja viscosidad, temperatura de gelatinización alta, entre otros. Por ello la necesidad de modificar los almidones nativos para mejorar sus propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales.

En el presente trabajo de investigación se evaluaron las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones nativos y modificados con AOS de 2 variedades de papa peruanita y putis; la modificación se realizó como el objetivo de mejorar las propiedades de los almidones nativos.

El estudio está compuesto por el capítulo I, la situación problemática a tratar, formulación del problema, justificación, los objetivos y las hipótesis; el propósito fue encontrar la problemática a resolver y como dar solución a este problema identificado. En el capítulo II se muestra los antecedentes de modificación química con AOS de almidones nativos de papa estos fueron utilizados para poder comparar y discutir los resultados obtenidos, en el capítulo III podemos encontrar toda la información de las bases teóricas y conceptos que facilitará el entendimiento al lector, el capítulo IV podremos encontrar el lugar donde se ejecutó el presente trabajo de investigación, identificación de las variables, instrumentos equipos y materiales que se utilizó, identificación de la población y muestra, tipo de investigación, metodología experimental usada, diseño experimental, en el capítulo V encontraremos los resultados obtenidos para las propiedades físicas, químicas y tecno funcionales de los almidones nativos y modificados en la presente investigación así mismo las discusiones de estas propiedades. Por último, en el capítulo VI encontraremos las conclusiones a la cual se llegó con los resultados obtenidos de la investigación, recomendaciones para futuras investigaciones similares, bibliografías y anexos.

# CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

## 1. Planteamiento del problema

### 1.1. Situación Problemática

Según el INEI (2021) la provincia de Andahuaylas, región Apurímac se encuentra entre los primeros 10 productores de papa a nivel nacional, la provincia de Andahuaylas tiene una gran biodiversidad en la producción de papa, las papas más pequeñas en su mayoría son dejados en la chacra o en mejor de los casos son usados como alimento para animales, no son aprovechados adecuadamente.

La industria alimentaria requiere de almidones, los cuales son usados extensamente como espesantes, aporte de textura, estabilizante, gelificante. Sin embargo, los almidones más utilizados en la industria alimentaria son del trigo, maíz y arroz dejando de lado a los almidones nativos de papa ya que no son adecuados para el desarrollo de determinados productos, por sus carencias como baja solubilidad en agua fría, baja capacidad de absorción de agua y temperatura de gelificación altas, todo esto conlleva a la baja calidad de productos en los cuales se utilizan almidones nativos. La mayoría de almidones nativos no pueden ser usados directamente como aditivos en la industria alimentaria, la modificación del almidón permite realzar o inhibir propiedades como consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios en el pH, temperatura y mejorar su gelificación, dispersión o fluidez (Saartrat et al., 2005).

El almidón modificado es un almidón que ha sido sometido a procedimientos físicos, químicos o enzimáticos con el objetivo de modificar sus propiedades a través del rompimiento de algunas o todas sus moléculas, mejorando o inhibiendo algunas propiedades como consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios en el pH y temperatura de gelificación, dispersión o fluidez (Vaclavick, 1998).

La esterificación es un proceso por el cual se sintetiza un ester, es la conversión de un ácido carboxílico en un ester dándose una rotura nucleofílica del oxígeno de la molécula que tiene el grupo OH al carbono insaturado que contiene el grupo carboxílico. A parte de ello se necesita de un catalizador en este caso el NaOH que su función será incrementar la carga parcial positiva sobre el átomo de carbono (actividad carbonílica) por protonación de uno de los oxígenos del agente con el grupo carboxílico, esto da como resultado un enlace éster y una molécula de agua (Carrascal, 2013). La modificación con AOS (anhidrido octenil succínico) de los almidones nativos ha sido estudiada,

teniendo gran interés en mejorar las propiedades de emulsificación del almidón con aceites o soluciones hidrofílicas. Cuando se modifica el almidón con anhídrido octenil succínico confiere un carácter hidrofílico al almidón nativo, mejora las propiedades viscosidad y retrogradación, sin embargo, las variedades y la zona de producción determinan la funcionalidad. De tal manera es necesario estudiar el comportamiento del almidón nativo y almidón modificado a través de sus propiedades físicas, químicas y tecno funcionales.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo serán las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones de papa (*Solanum tuberosum*) nativo y modificados por esterificación?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cómo serán las propiedades físicas de almidones de papa (*Solanum tuberosum*) nativo y modificados por esterificación?

¿Cómo serán las propiedades químicas de almidones de papa (*Solanum tuberosum*) nativo y modificados por esterificación?

¿Cómo serán las propiedades tecnofuncionales de almidones de papa (*Solanum tuberosum*) nativo y modificados por esterificación?

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

Los almidones nativos presentan muchas limitaciones para su uso en la industria alimentaria como la carencia de propiedades funcionales en aporte de textura, solubilidad, consistencia para la gelificación y sinéresis, por lo tanto, modificando los almidones nativos se mejorará la calidad de los productos en los cuales se utiliza así mismo dar mejor utilidad al almidón de papa. A si mismo tienen un uso limitado en la industria en términos de necesidades emergentes y funcionales presentando problemas formación de geles débiles, baja estabilidad del gel, alta susceptibilidad al ataque por ácidos, altos niveles de recristalización o retrogradación, viscosidad inconsistente y baja solubilidad (Flores, 2004).

El conocimiento de las propiedades físicas, químicas, y tecnofuncionales de almidones de fuentes vegetales es importante para determinar el uso en la industria alimentaria. Los almidones utilizados en la industria alimentaria deben de cumplir ciertas propiedades como resistencia a la exposición a altos esfuerzos de corte, resistencia a altas temperaturas, resistencia a la descomposición térmica, resistencia a pH extremos y baja tendencia a la retrogradación (Singh et al., 2007). Muchos de estos almidones no son utilizados en su forma nativa, ya que no tienen buenas características. Por ello, normalmente se utiliza alguno tipo de modificación del almidón, ya sea física, química o enzimática para mejorar algunas de sus propiedades físicas, químicas o tecnofuncionales (Sánchez et al., 2005).

En este sentido la modificación química de los almidones de papa se realizará con el fin de mejorar algunas de sus propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales, para ampliar su rango de aplicaciones en la industria alimentaria, y así poder ser utilizado como sustituto de otros almidones que son mayormente utilizados en la industria alimentaria, ya que en la provincia de Andahuaylas contamos con una gran diversidad en la producción de papas, así dar un valor agregado y obtener almidones con propiedades adecuadas para usar como aditivos en diversos alimentos. Se escogió las variedades peruanita y putis por su alto contenido de materia seca a diferencia de las papas comerciales utilizadas normalmente para la extracción del almidón, las papas nativas que son mas arenosas tienen mayor contenido de materia seca por ello tendrá mayor contenido de almidón. Por ello el almidón nativo y modificado de papa con AOS de las variedades de la zona requiere un estudio detallado de sus propiedades, físicas, químicas y tecnofuncionales, con el fin de recopilar información para dar valor agregado a la papa así mismo mejorar las propiedades físicas químicas y tecnofuncionales del almidón nativo de papa. Con los almidones modificados se pretende beneficiar a los empresarios de nuestra localidad que se dedican al rubro alimentario como la panadería, repostería y elaboración de néctares. Desde el punto de vista metodológico en la presente investigación se pretende evidenciar información sobre la modificación de almidones por esterificación, para realizar futuros estudios en la región Apurímac y el país.

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

### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones de papa (*Solanum tuberosum*) nativos y modificados por esterificación.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Evaluar las propiedades físicas de almidones de papa (*Solanum tuberosum*) nativo y modificados por esterificación.
- Evaluar las propiedades químicas de almidones de papa (*Solanum tuberosum*) nativo y modificados por esterificación.
- Evaluar las propiedades tecnofuncionales de almidones de papa (*Solanum tuberosum*) nativo y modificados por esterificación.

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

##### **1.5.1. Hipótesis general**

Las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales del almidón nativo de papa (*Solanum tuberosum*) mejorará con la modificación por esterificación.

##### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- Las propiedades físicas de los almidones nativos de papa (*Solanum tuberosum*) mejorará con la modificación por esterificación.
- Las propiedades químicas de los almidones nativos de papa (*Solanum tuberosum*) mejorará con la modificación por esterificación.
- Las propiedades tecnofuncionales de los almidones nativos de papa (*Solanum tuberosum*) mejorará con la modificación por esterificación.

## CAPITULO II: ANTECEDENTES

### 1.6. Marco teórico

#### 1.6.1. Antecedentes internacionales

López (2022), en su investigación intitulada “Determinar el efecto del grado de gelatinización sobre la capacidad emulsionante del almidón de maíz esterificado con ácido octenil succínico” El almidón de maíz normal (26 % de contenido de amilosa) se sometió a diferentes grados de pregelatinización basada en extrusión (55, 75 y 95 %) para mejorar la eficiencia de la esterificación del anhídrido octenil succínico (AOS). La ruptura parcial de la estructura semi cristalina nativa se verificó con el análisis infrarrojo por transformada de Fourier. Se encontró que la gelatinización parcial (pregelatinización) redujo la cristalinidad relativa, que es un efecto magnificado por la esterificación de AOS. Las microscopías electrónicas polarizadas y de barrido revelaron la destrucción gradual de los gránulos de almidón, produciendo una fracción de remanentes insolubles para altos grados de gelatinización. El análisis de componentes principales reveló que la mayoría de las características del almidón eran interdependientes entre sí y que el impacto del grado de gelatinización era independiente del impacto de la esterificación de AOS.

Silva (2022), en su investigación intitulada “Efecto del contenido de amilosa en las propiedades morfológicas, funcionales y de emulsificación del almidón de maíz modificado con AOS” Se prepararon ésteres de almidón octenil succínico a partir de tres almidones de maíz con diferente contenido de amilosa; a saber, céreo (5,43 %), normal (25,16 %) e Hylon VII (65,84 %). El grado de sustitución varía de 0,0103 para el almidón ceroso a 0,0125 para Hylon VII, lo que significa que el grado de sustitución está positivamente correlacionado con el contenido de amilosa. Las imágenes de microscopía electrónica de barrido mostraron que la reacción de esterificación afectó solo a la superficie del gránulo mientras dejaba la integridad de los gránulos. La solubilidad y la capacidad de retención de agua aumentaron con la modificación AOS, siendo el efecto más pronunciado para contenidos de amilosa más altos. El análisis FTIR corroboró los cambios en las estructuras hidratadas y ordenadas de los gránulos de almidón. El éster de almidón octenil succínico era un emulsionante eficaz para la estabilización de emulsiones de aceite en agua. Los almidones cerosos e Hylon VII indujeron altos grados de estabilización como lo revela la estabilidad a largo plazo de las emulsiones de aceite en agua.

Zhang (2021), en su investigación intitulada “Impacto de la esterificación del anhídrido octenil succínico (AOS) en la microestructura y propiedades fisicoquímicas del almidón de sorgo” cuyo objetivo fue evaluar el impacto de la esterificación con anhídrido octenil succínico (AOS) en la microestructura y propiedades fisicoquímicas del almidón de sorgo. Los gránulos de almidón de sorgo lo esterificaron con anhídrido octenil succínico (AOS) para obtener almidones modificados con diferentes grados de sustitución (DS) (0.0028–0.011). La reacción tuvo lugar más en las regiones amorfas que en las cristalinas de los gránulos de almidón. La modificación con AOS tuvo un efecto significativo sobre el tamaño de las partículas y la apariencia del almidón, también afectó la resistencia de la región amorfa. La modificación del almidón por AOS podría aumentar su poder de hinchamiento y su solubilidad en agua durante su procedimiento de hinchamiento. Los experimentos reológicos mostraron que la fuerza de los geles de almidón disminuyó al aumentar la sustitución y la temperatura de gelatinización disminuyó de 72,2 a 61,5 °C. Este estudio presenta una aplicación potencial del almidón de sorgo esterificado con AOS como un nuevo emulsionante para estabilizar las emulsiones de Pickering.

Castillo (2019), en su investigación intitulada “Efecto de la modificación de almidones de maíz con ácido octenil succínico en la digestibilidad y sus propiedades estructurales” cuyo objetivo fue estudiar el efecto de la modificación y contenido de amilosa en las propiedades de digestibilidad del almidón de maíz no modificado y modificado con AOS, Almidones de maíz (ceroso, normal y Hylon VII) fueron tratados con solución de AOS al 3%. Usaron un Diseño Completamente al Azar (DCA). El contenido de amilosa estaba negativamente relacionado los almidones modificados con AOS mostraron disminución en el contenido de amilosa. Además, presentó un incremento en el tamaño de partícula. Con todo esto se puede concluir que AOS podría actuar como agente de entrecruzamiento entre cadenas de almidón; la mayoría de los resultados evidenciaron que los tratamientos con AOS permitieron la formación de cadenas de almidón más complejas, que tienen más resistencia para las reacciones amilolíticas.

Pereyra (2018), en su investigación intitulada “Obtención y caracterización de almidón químicamente modificado de arroz con AOS” cuyo objetivo fue obtener y caracterizar almidón químicamente modificado de arroz a partir de dos variedades de arroz cultivados en la zona de Concordia (Entre Ríos, Argentina). Se trabajó con dos variedades de arroz: Yerua pa y Quri inta cl, obtuvieron almidón de arroz utilizando el método alcalino. Se evaluó la composición química

y el contenido de amilosa. A parte de ello se determinaron las propiedades térmicas; a pesar de que presentó diferencias en el contenido de amilosa, en cuanto al grado de sustitución no hubo diferencia para las dos variedades. El tamaño de partícula de los gránulos de almidón tuvo un aumento significativo con la modificación química para ambas variedades. La temperatura de gelatinización y el cambio de entalpía presentaron diferencias con la modificación química, dando un indicativo de que los almidones modificados necesitan menos energía para cambiar su estructura. En cuanto al tiempo de gelatinización disminuyó en los almidones modificados con respecto de los almidones nativos. Por lo tanto, se puede concluir que la modificación química con AOS en almidón de arroz puede ser potencialmente empleada para obtener un aditivo que se utilice como espesante y gelificante en la industria de alimentos.

Champe (2017) realizó su tesis titulada “Modificación del almidón de arracacha (*arracaccia xanthorrhiza brancoft*) por métodos oxidativos para uso alimentario”, cuyo objetivo fue modificar químicamente el almidón obtenido de la raíz de arracacha por oxidación con hipoclorito de sodio a las concentraciones de (200 ppm, 300 ppm y 500 ppm) y tiempos de reacción 2 h y 4 h, Se evaluaron las propiedades tecnofuncionales y se compararon con las del almidón nativo la fuerza de hinchamiento y la cantidad de sólidos solubles variaron dependiendo de las modificaciones químicas realizadas, siendo mayor en el almidón oxidado con 500 ppm. y 4 horas de tiempo de reacción. En comparación con el almidón nativo, varios tratamientos de modificación redujeron la temperatura de gelatinización inicial. En conclusión, en comparación con el almidón nativo, diversos tratamientos de modificación reducen la temperatura de gelatinización inicial; La viscosidad del almidón oxidado disminuyó con una mayor concentración de cloro y un mayor tiempo de reacción, y el contenido de grupos carboxilo aumentó con una mayor concentración de cloro y un mayor tiempo de reacción.

Cruz (2015), en su investigación intitulada “Determinación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de mezclas de almidones de yuca (cerosa y normal), químicamente modificados” cuyo objetivo fue evaluar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de mezclas de almidones de yuca (normal y cerosa), químicamente modificados con grupo succinato, Las condiciones de hidrólisis ácida obtenidas a partir de la optimización, fueron una concentración de HCl de 7.97 % para ambos almidones y un tiempo de 4.56 h para almidón ceroso y de 2.44 h para almidón normal, a partir de los almidones hidrolizados realizaron la modificación química con grupos succinato, presentando

un grado de sustitución (GS) de 0.019 y 0.035 para el almidón ceroso y un GS de 0.016 y 0.035 para el almidón normal, respectivamente, por lo tanto, se propone que los almidones químicamente modificados, representan una excelente alternativa para emplearse como agentes espesantes y gelificantes.

Bello (2014), en su investigación intitulada “Almidón de plátano modificado con Anhidro octenil succínico (OSA) como candidato para estabilizar emulsiones” cuyo objetivo fue evaluar el efecto del grado de sustitución en las propiedades emulsificantes del almidón de plátano macho modificado con anhidro octenil succínico (AOS). En el almidón modificado químicamente se evaluó el tamaño de partícula, la temperatura de gelatinización. El almidón de plátano modificado con AOS mostró grado de sustitución que osciló entre 0.016 y 0.034, obtenidos a concentraciones de 3 y 15 % de AOS, respectivamente. En cuanto a la temperatura y entalpia de gelatinización del almidón modificado disminuyeron con el incremento del GS. El almidón de plátano modificado con OSA presento mejoras en el grado de sustitución, viscosidad e incrementó en el tamaño de partícula y se logró reducir el tiempo y temperatura de gelatinización.

Sulbaran (2013), en su investigación intitulada “Acetilación del almidón de millo y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico” cuyo objetivo fue modificar almidón de millo con anhídrido acético y evaluar su aplicación como auxiliar farmacéutico. Se acetiló el almidón de millo (*Pennisetum glaucum*) variando la concentración de anhídrido acético, para así poder obtener diferentes grados de sustitución. La modificación química se pudo confirmar con el análisis de espectroscopía infrarroja, evidenciando la aparición de una banda a 1748  $\text{cm}^{-1}$  para todos los almidones modificados. La temperatura de gelatinización disminuyó con el incremento del grado de sustitución y el tamaño de partícula del gránulo de almidón mostró diferencias respecto al almidón nativo. La modificación por acetilación disminuyó la sinéresis de los almidones modificados y incremento su estabilidad al congelamiento-descongelamiento. La modificación por acetilación tuvo efectos positivos en las propiedades del almidón, teniendo potencial como gelificante y estabilizante.

### **1.6.2. Antecedentes nacionales**

Márquez (2022), en su investigación intitulada “Efecto de la hidrólisis ácida sobre las propiedades de almidones obtenidos de dos variedades de papa amarga y tunta” cuyo objetivo fue estudiar el efecto de hidrólisis ácida en dos almidones de papas amargas y tunta (variedades Ocucuri negra y

Cuchi jipilla) sobre sus propiedades funcionales, morfológicas, estructurales y reológicas. La hidrólisis ácida de los almidones se realizó con ácido sulfúrico 3.16 M (14.6%, p/p) por 5, 7 y 10 días. Se determinó el rendimiento, color, poder de hinchamiento (PH), solubilidad (S), capacidad de absorción de agua (CAA), morfología con microscopía electrónica de barrido, distribución de tamaño de partícula con dispersión dinámica de luz, y las propiedades térmicas ( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$ ,  $\Delta H$ ) con calorimetría diferencial de barrido. Las propiedades estructurales se evaluaron con espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR). El índice de blancura promedio de los almidones hidrolizados fue 95,4%. El tamaño de partícula de los gránulos, el pH y solubilidad de los almidones hidrolizados estuvieron en los rangos de 550,1-1134.5 nm, 1,84-2,77 g/g y 37,18-62.13 g/g, respectivamente. Las temperaturas ( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$ ) fueron mayores que sus contrapartes nativas; mientras que, la entalpía ( $\Delta H$ ) presentó una tendencia decreciente. La solubilidad, poder de hinchamiento y la capacidad de absorción de agua se aumentó con respecto a los almidones no modificados y el análisis de FT-IR confirmó la hidrólisis selectiva de sus regiones amorfas. En conclusión, los almidones hidrolizados presentaron mejores valores en sus propiedades térmicas que podrían ser interesantes para su aplicación en emulsiones Pickering.

Velásquez (2019), en su investigación intitulada “Obtención y aplicación de almidones modificados por esterificación (AOS) a partir de almidones nativos provenientes de tubérculos andinos” cuyo objetivo fue obtener y caracterizar almidones nativos y modificados por esterificación AOS (anhídrido octenil succínico) usando de tubérculos andinos como: mashua amarilla, oca amarilla, oca rosada y olluco amarillo el almidón fue extraído por lavados sucesivos, sedimentación y fue secado en la estufa. Para la realizar la modificación se seleccionaron los almidones en función al rendimiento de extracción y modificaron con AOS a un pH de 8.5 a 9 por un tiempo de 6 h de reacción. Después del proceso de modificación, los almidones fueron lavados y liofilizados. Como resultado de la modificación, lograron ver la formación dos nuevos picos a 1572 y 1724  $\text{cm}^{-1}$  en el espectro infrarrojo. El tamaño de partícula de los gránulos de almidón se incrementó ligeramente en almidones AOS. Las temperaturas de gelatinización fueron menores en los almidones modificados. Almidones modificados con AOS, en general, mostraron mejores propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales que los almidones nativos.

Palomino (2018), en su investigación intitulada “Extracción, caracterización funcional y color del almidón de papa nativa de las variedades: waka waqra, alq’a wayruru, phusi k’achun waqachi y

puka viruntus (*solanum tuberosum* ssp. *andigenum*)” cuyo objetivo fue extraer, caracterizar las propiedades funcionales y color del almidón de papa nativa de las variedades: Waka waqra, Alq’a wayruru, Phusi k’achun waqachi, Puka viruntus (*Solanum tuberosum* andigena). El almidón fue extraído en medio acuoso, al cual se evaluó el índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), poder de inchamiento (PH), temperatura de gelatinización (TG), pH y el color  $L^*a^*b^*$ , se aplicó un diseño completo al azar. Los resultados mostraron que la TG oscila entre 63.5°C a 60.3°C, el ISA entre 11.43 a 7.13 g solubles/g, el IAA 7.02 a 14.87 g gel/g, el PH entre 8.42 a 15.85 g sedimento/g, y el color la luminosidad  $L^*$  está por encima de 95.

Martínez (2016), en su investigación intitulada “Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*solanum tuberosum*) variedad única” cuyo objetivo fue, evaluar las propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y modificados químicamente por acetilación. La acetilación es un tipo de modificación química que implica reemplazar un determinado número de grupos hidroxilos por los grupos acetilos utilizando el anhídrido acético. Esta modificación depende muchos factores como: la fuente de almidón, la concentración del anhídrido acético, el tiempo de reacción y el pH. Se evaluaron los grupos funcionales con espectroscopía FTIR, también sus propiedades fisicoquímicas y propiedades tecnofuncionales, propiedades térmicas. El almidón nativo (AN) y los almidones modificados por acetilación con diferentes concentraciones de anhídrido acético al 5 %, 10 % y 15 %. El contenido de amilosa aparente para el almidón nativo y almidón acetilado (AAc15%) fueron 17.3 y 31.4 %, respectivamente. En cuanto al color no hubo diferencia significativa con la acetilación. La temperatura de gelatinización se redujo; los almidones modificados por acetilación presentaron mejoras en sus propiedades.

Díaz (2015), en su investigación intitulada “Determinación de las propiedades físicas, químicas, tecnofuncionales y la estabilidad en congelación y descongelación del almidón de cuatro variedades de papa nativa” cuyo objetivo fue determinar las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales del almidón de cuatro variedades de papa nativa y la estabilidad en congelación/descongelación del almidón gelatinizado. Se evaluaron propiedades físicas como humedad y tamaño de partícula, amilosa y amilopectina y pH; propiedades tecnofuncionales: temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua, capacidad de hinchamiento y estabilidad de congelación/descongelación en función del porcentaje

de sinéresis. Los almidones de las cuatro variedades autóctonas de papa tuvieron valores de humedad de 10,21-11,20% y el tamaño de los granos para el eje mayor y menor fueron (26,80-55,02  $\mu\text{m}$  y 20,05-35,09  $\mu\text{m}$ , respectivamente). El pH fue 6,3-6,93; La amilosa osciló entre 32,687 y 40,267% y la amilopectina entre 59,733 y 67,313%. Las propiedades técnico-funcionales de la temperatura de gelatinización estuvieron en el rango de 63,9–70,0 °C, un índice de absorción de agua de 6,332–10,278 g gel/g muestra; un índice de solubilidad en agua de 2,03-2,85 g de soluble/g de muestra; una fuerza de hinchamiento de 6,380-10,253 % y una estabilidad de congelación/descongelación de 0,1-15,7 % de sinéresis el primer día y 0-7,93 % de sinéresis el segundo día. Estos datos obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante un DCA (diseño completamente aleatorizado) y un LSD de comparación de rangos múltiples (diferencia mínima significativa). Estos resultados sugieren que los almidones de papa nativos tienen propiedades beneficiosas, alto contenido de amilosa, alta capacidad de hinchamiento, gel transparente y baja solubilidad.

## CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

### 1.7. Bases teóricas

#### 1.7.1. Papa

La papa es un tubérculo que crece bajo tierra y es comestible, se originó en las montañas de los Andes de Sudamérica este tubérculo es el tercer cultivo alimenticio más importante del mundo en términos de consumo humano después del arroz y del trigo, actualmente existe más de 3500 variedades de papa en el Perú (Gómez et al., 2008).

##### ✓ **Peruanita**

Esta variedad normalmente se produce en la región Suni o Jalca, a una altura aproximada de 2800 a 4000 m.s.n.m. Donde mayormente se producen es en Huancavelica, Ayacucho, Junín, Apurímac, Huánuco, Ancash y Cusco; la época de cosecha se da a los 150 días en los meses de marzo a junio tiene un contenido de materia seca de 24%; el centro internacional de la papa lo denominó un código CIP: 703387. Tiene una forma ovalada, el color de la pulpa es amarillo (Gómez et al., 2008).

##### ✓ **Putis**

Esta variedad normalmente se desarrolla en las regiones de Suni o Jalca a una latitud aproximada de 3500 a 4100 m.s.n.m. Las regiones donde se cultivan mayormente son: Cusco, Apurímac, Ayacucho, Huancavelica, Chumbivilcas. Tiene un contenido de materia seca de aproximadamente 28% su código CIP: 704063. El color de la pulpa de esta variedad es blanco con un centro de color morado y una forma alargada (Gómez et al., 2008).

#### 1.7.2. Almidón

El almidón es un carbohidrato de reserva, sintetizado y almacenado como fuente de energía por las plantas superiores; Después de la celulosa, es el segundo carbohidrato más abundante en la biosfera. El contenido de almidón va variar según la fuente de obtención, la más importante son los cereales (maíz, arroz, trigo) con un contenido aproximado de 30-80%, en leguminosas (fríjol, chicharo, haba) un 25-50% y en tubérculos (papa, tapioca, yuca), representa un 60-90% de la materia seca (Biliaderis, 1998).

El almidón es la mayor fuente de carbohidratos en la dieta humana y el polisacárido de almacenamiento más abundante en las plantas. Se presenta naturalmente en forma granular en los

cloroplastos de las hojas verdes y los amiloplastos de semillas, nueces y tubérculos. A nivel molecular, el almidón nativo consta de dos componentes diferentes, amilosa y amilopectina, que pueden aislarse mediante fraccionamiento y estudiarse de forma independiente. La amilosa, que es esencialmente un polímero lineal, constituye típicamente entre el 15% al 20% de almidón, y la amilopectina, que es una molécula ramificada más grande, es el componente principal del polisacárido (Sajilata et al., 2006).

El almidón está organizado en pequeños gránulos con tamaños y formas característicos, esto varía de la especie botánica que provenga el almidón (Badui, 2006).

### 1.7.3. Amilosa

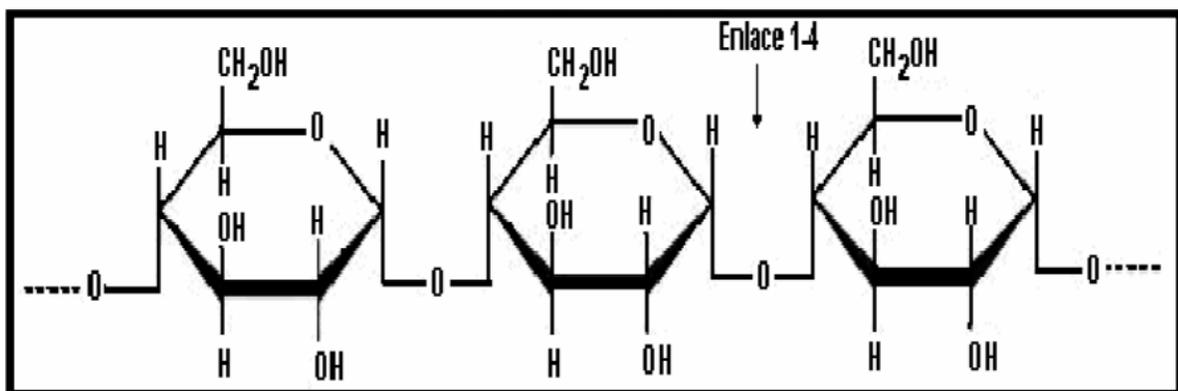
La amilosa, es un polímero lineal que tiene moléculas de glucosa estas se encuentran unidas entre sí por enlaces  $\alpha$ -(1-4) que son un 99 % de su estructura; también se ha corroborado la presencia de algunas ramificaciones sujetas por enlaces  $\alpha$ -(1-6), estas ramificaciones se encuentran de forma espaciada e infrecuente, esto permite ver su comportamiento esencialmente lineal (Tovar, 2008).

La amilosa varía de tamaño y estructura dependiendo de la fuente botánica y origen (Tester et al., 2004).

El porcentaje de amilosa en el almidón nativo, puede estar entre 20 y 30 por ciento dependerá de la fuente de procedencia del almidón (Fredriksson et al., 1998).

#### Figura 1

*Estructura química de la amilosa*



Fuente: Rivas, 2006

#### 1.7.4. Amilopectina

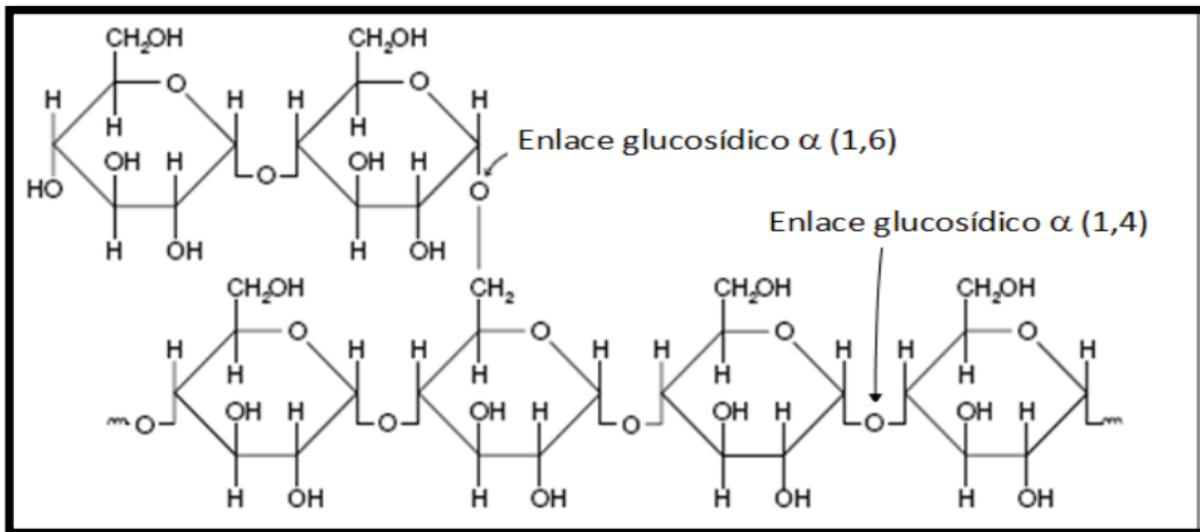
La amilopectina es un polímero ramificado formado por cadenas lineales formadas por 15-35 moléculas de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$ -D-(1-4), estas cadenas están unidas entre sí mediante enlaces  $\alpha$ -D-(1-6) formando puntos de ramificación. La amilopectina es el componente mayoritario del almidón, se encuentra en una proporción de 70 a 80 % de los almidones, en ciertos casos alcanza niveles de hasta 98 y 99 %, este tipo de almidones son definidos como cerosos (Aristizabal et al. 2007).

La amilopectina es un polímero ramificado que se encuentra en todos los almidones y este tiene uno de los mayores pesos moleculares conocidos hasta ahora. La amilopectina tiene principalmente cadenas pequeñas de unidades D-glucosa con enlaces  $\alpha$  (1-4) y grandes proporciones de ramificaciones glicosiladas  $\alpha$ -(1-6), esto dan como resultado una estructura bastante ramificada. Los puntos de ramificación de la amilopectina resultan en proporciones de cadena media de 20 a 25 unidades esto son más pequeños que la molécula de amilosa, esta presenta un amplio perfil de distribución (Tester et al., 2004).

La amilopectina tiene más peso molecular que la amilosa, entre  $10^7$  y  $10^9$  Da y un grado de polimerización entre 9 600 a 15 900 unidades (Tester et al., 2004).

#### Figura 2

*Estructura química de la amilopectina*



Fuente: Rivas, 2006

### 1.7.5. Composición química del almidón

Químicamente, el almidón está integrado por dos polímeros de diferente estructura la amilosa (es esencialmente un polímero lineal, soluble en agua) y amilopectina (es un polímero ramificado, insoluble en agua), estos se presentan juntos en los gránulos, pues el granulo de almidón es un sistema heterogéneo que consiste principalmente en estos dos compuestos (Surco, 2004).

La composición química del almidón depende de la fuente y el procedimiento de obtención como: el proceso de secado y la humedad relativa del medio. El contenido de humedad en los gránulos de almidón nativo o comercial va de un 10 al 12% en cereales y 14-19% en almidones de tubérculos y raíces. Un contenido superior de humedad puede ocasionar daño microbiano, por lo tanto, el deterioro en la calidad del polímero. Todos los almidones contienen pequeñas cantidades de proteínas, lípidos, fosforo y trazas de materiales inorgánicos (Moorthy, 2002).

**Tabla 1**

*Composición química proximal de diferentes variedades de almidones*

Fuente	Humedad	Lípidos	Proteínas	Fosforo	Cenizas
Maíz	13	0.6	35	0.015	0.1
Papa	19	0.05	6	0.1	0.4
Trigo	14	0.8	0.4	0.06	0.15
Yuca	13	0.1	0.1	0.01	0.2
Maíz céreo	13	0.2	0.25	0.007	0.07
Sorgo	13	0.7	0.3	0	0.08
Arroz	0	0.8	0.45	0.003	0.5
Sagú	0	0.1	0.1	0.02	0.2
Camote	13	0.05	0	0	0.1

Fuente: Moorthy, 2002

### 1.7.6. Usos de los almidones

Los almidones tienen una variedad de usos, la mayor parte es en la industria alimentaria. Se usa como materia prima básica o producto, el almidón juega un papel determinante en la textura de varios alimentos, factor importante en la palatabilidad y aceptabilidad (Tarazona, 1995).

Es usado para los siguientes propósitos:

- ✓ Industria textil
- ✓ Industria papelera

- ✓ Industria cosmética
- ✓ Industria alimentaria
- ✓ Como protector contra la humedad de diversos productos en polvo
- ✓ Aglutinante en la preparación de salchichas y
- ✓ Emulsificantes
- ✓ Espesante y estabilizante.

### **1.7.7. Modificación de almidones**

La modificación de los gránulos de almidón se puede dar tanto química, física o enzimáticamente para causar el rompimiento de algunas o todas sus moléculas. La modificación del almidón nos permite mejorar o inhibir características como la consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios en el pH y temperatura y mejorar su gelificación. Las principales modificaciones son la degradación, la pre gelatinización y la derivatización (Vaclavick, 1998).

### **1.7.8. Tipos de modificación**

#### **a) Físicos**

La modificación física consiste generalmente en la pregelatinización del almidón, en este proceso los gránulos de almidón nativo se rompen, aumentando su capacidad de solubilizarse en agua fría, esto permite su uso en alimentos de rápida preparación, tales como flanes, rellenos y salsas, entre otros (González, 2003).

Los tratamientos térmicos utilizados para efectuar modificaciones físicas se pueden llevar a cabo con un contenido de humedad alto o bajo, ya que la cantidad de agua utilizada en el tratamiento térmico se puede variar para producir diferentes efectos. Si el tratamiento térmico se realiza con exceso de agua, durante mucho tiempo y a una temperatura inferior a la temperatura de gelatinización, la viscosidad de la suspensión disminuye drásticamente. En cambio, si el almidón es sujeto a tratamientos térmicos con valores de humedad menores al 30%, los efectos que se observan son menos pronunciados (Zobel, 2005).

#### **b) Enzimáticos**

Este método consiste en el uso de enzimas como catalizadores para romper las moléculas de almidón, con este proceso se obtiene productos similares a la de la hidrólisis ácida. Las

enzimas más utilizadas en este proceso son las amilasas, siendo las más conocidas la  $\alpha$ -amilasa y la  $\beta$ -amilasa, la  $\alpha$ -amilasa desdobla el almidón en glucosa y maltosa; se caracteriza por la facilidad de fragmentación de los almidones en dextrinas reductoras, que no dan color en el yodo, la  $\beta$ -amilasa convierte la totalidad del almidón en glucosa (Agronet, 2006).

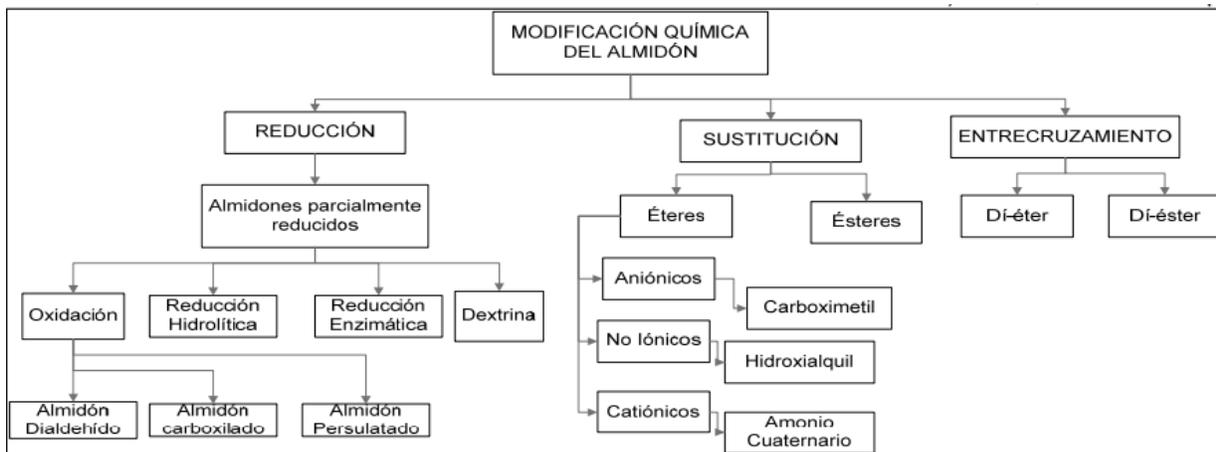
**c) Químicos**

La modificación química del almidón está directamente relacionada con las reacciones de los grupos hidroxilo del polímero de almidón. Reacciones vía éter, formación de ésteres, oxidación y la hidrólisis de los grupos hidroxilos, son algunas modificaciones químicas aplicables al almidón. El nivel de sustitución está referente con la modificación química sugiere el promedio del número de sustituciones por unidad de anhídrido glucosa en el almidón. El más alto nivel de sustitución (DS) es 3 ya que se muestran 3 conjuntos hidroxilo accesibles por unidad de anhidroglucosa (Miladinov y Hanna, 2000).

El almidón y sus derivados químicamente modificados, son mayormente utilizados en alimentos para modificar o mejorar su textura, consistencia y apariencia; también se usa para producir edulcorantes; en donde se requiere realizar una hidrólisis controlada para producir maltodextrinas o jarabes de glucosa con el poder dulcificante apropiado (Radley, 1976).

**Figura 3**

*Tipos de modificación química*



Fuente: Radley, 1976.

### **1.7.9. Esterificación**

La modificación con AOS de los almidones nativos tiene gran interés en mejorar las propiedades de emulsificación del almidón con soluciones hidrofóbicas. La modificación con anhídrido octenil succínico confiere un carácter hidrofílica al almidón (Song et al., 2006). La modificación tiene lugar en sistemas de suspensión acuosa en condiciones de reacción específicas, como concentración de sólidos, velocidad de agitación, tiempos de reacción, valor de pH y temperatura. Durante la reacción, se produce un ataque nucleofílico a los gránulos de almidón a través de un enlace éster cuando los sitios –OH están disponibles dentro de la molécula de glucosa. Es decir, los grupos OH disponibles en el almidón son atacados y se le quita un protón para posteriormente formarse un éster con el grupo AOS adicionado, y esto se realiza bajo condiciones alcalinas, que propician el ataque nucleofílico (Song et al., 2006)

### **1.8. Propiedades físicas del almidón**

Las propiedades físicas y químicas dependen de la organización física y química (las cantidades respectivas de estos polisacáridos), los cuales otorgan determinadas propiedades fisicoquímicas y características funcionales a los diferentes almidones (Singh, 2003). Además de la amilosa y amilopectina, existen otros componentes en pequeñas proporciones como: proteínas, lípidos, grupos fosfato y trazas de materiales inorgánicos; tanto la fuente botánica y las condiciones de almacenamiento de los almidones determinan el contenido de estos compuestos que imparten efectos drásticos en las propiedades fisicoquímicas (Moorthy, 2002).

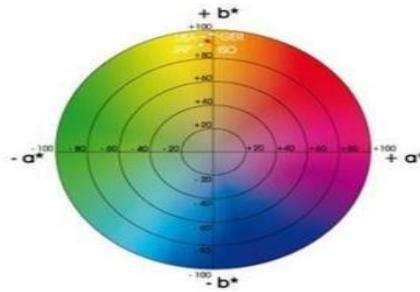
#### **1.8.1. Color**

El color es la impresión producida por un tono de luz en los órganos visuales, el color como sustancia no existe, no es más que un efecto óptico en el cual intervienen varios procesos fisiológicos, físicos, químicos (Sanz, 1993).

El color se puede describir en términos de valor, que es la oscuridad o claridad de un color. Si el blanco es incrementado a cualquiera de los colores, se obtendrá valores más claros llamados tintes. Y si se aumenta el gris en un tono obtendremos valores más oscuros de tono conocidos como matices (Ferreira, 1981).

#### Figura 4

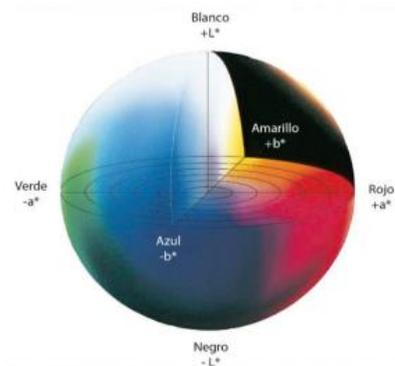
*Representación en el plano horizontal de color  $L^* a^* b^*$*



Fuente: Ferreira, (1981).

#### Figura 5

*Representación tridimensional del espacio de color  $L^* a^* b^*$*



Fuente: Ferreira, (1981).

### 1.8.2. Humedad

La humedad es una variable física que está definida formalmente como la cantidad de agua que se encuentra o es absorbida en un sólido, la humedad se puede expresar tanto en base seca como en base húmeda (Barrios, 1989).

El contenido de humedad es la cantidad de agua presente como un porcentaje del peso original de la muestra. El contenido seco es la cantidad de sólidos que quedan después del secado, expresada

como un porcentaje del peso original de la muestra (Salas, 2005). El contenido de humedad depende del tipo de materia prima, así como del método de extracción y de las condiciones del proceso de secado. Cuando la humedad es inferior al 10% es conveniente evitar el deterioro del almidón durante el almacenamiento o conservación. El rango de contenido de humedad para los almidones está entre 7.0 a 13.3 % (Hoover R. , 2001).

### **1.8.3. Actividad de agua ( $A_w$ )**

La actividad del agua ( $A_w$ ) es una medida de la disponibilidad de agua libre en los alimentos para el crecimiento de microorganismos; es el equilibrio de humedad de un producto, determinado por la presión parcial del vapor de agua sobre su superficie. El valor de la actividad del agua depende de la composición, temperatura y contenido de agua del producto (Martínez, 1997). La actividad del agua está relacionada con la vida útil de los alimentos porque determina la disponibilidad de agua para el crecimiento de microorganismos, actividad enzimática y química durante la conservación de los alimentos, que pueden dañar su calidad. Esto sucede porque los microorganismos necesitan grandes cantidades de agua libre para vivir, el rango de medición de la actividad de agua es de 0 a 1, cuando los valores están cercanos a 0 nos indica menor cantidad de  $A_w$  esto quiere decir que el alimento se va conservar mejor y por más tiempo por ello existe mayor conservación y vida útil con  $A_w$  cercanas a 0, si el valor de  $A_w$  es más cercano a 1 el alimento o producto no tendrá un tiempo largo de conservación. por ello es que los métodos de conservación de alimentos se basan en disminuir la actividad de agua mediante la deshidratación, liofilización, adición de azúcares o sales, evaporación y congelación. (Cardona, 2019)

### **1.8.4. Tamaño de partícula**

El tamaño de partícula es un término que se usa para comparar las dimensiones de sólidos, líquidos o gases. Con el análisis del tamaño de partículas, podemos comprender las propiedades físicas y químicas de los productos analizados, significa también la distribución, es decir, no todas las partículas de un producto son del mismo tamaño dentro de las partículas de un producto existen diferentes tamaños por eso al medir podemos definir en  $D_{X10}$ ,  $D_{X50}$  y  $D_{X90}$ . El tamaño de la partícula y la distribución de su tamaño afecta una cantidad de propiedades de recubrimientos, incluyendo la viscosidad, la impermeabilidad, la claridad de la película, la estabilidad mecánica, el brillo y más (Hidalgo, 2016).

## **1.9. Propiedades químicas del almidón**

### **1.9.1. pH**

Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el agua. Es una medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o producto, el pH se mide en una escala de 0 al 14. En esta escala, si el valor del pH es 7, es neutro, lo que nos permite saber que la sustancia o la solución no es ácida ni alcalina. Si el valor del pH da menor de 7 significa que es más ácida, y si da un valor pH de más de 7 significa que es más alcalina. (cardona, 2019).

### **1.9.2. Grado de sustitución**

El grado de sustitución está muy relacionado con la modificación química, este nos indica el promedio del número de sustituciones por unidad de anhidro glucosa en el almidón, un máximo grado de sustitución (DS) es 3 debido a que se presentan tres grupos hidroxilo disponibles por unidad de anhidro glucosa (Miladinov y Hanna, 2000).

### **1.9.3. Grupos funcionales**

Los grupos funcionales son ciertos grupos de átomos que son responsables de las propiedades de una molécula; Tienen diferentes propiedades dependiendo de su estructura y disposición atómica. Algunos grupos funcionales son no polares, mientras que otros grupos funcionales son polares; Otros grupos funcionales pueden formar enlaces de hidrógeno o disolverse en disolventes no polares. Los grupos funcionales bastante importantes, ya que nos ayudan predecir las características de una molécula desconocida con solo observar su estructura. Si logramos identificar su grupo funcional, podemos compararla con otras moléculas de la misma serie o familia homóloga y hacer conjeturas seguras sobre su reacción (Miladinov y Hanna, 2000).

### **1.9.4. Potencial zeta**

El potencial zeta es una medida de la magnitud de la repulsión o atracción electrostática o carga entre partículas, es uno de los parámetros más fundamentales que afecta la estabilidad. Las mediciones del potencial zeta nos brindan información detallada sobre las causas de la dispersión, agregación o floculación, esto se puede aplicar para mejorar la formulación de emulsiones y suspensiones. Cuanto menor sea el valor del potencial zeta indica mayor estabilidad (Aguilar, 2002).

Según Aguilar, (2002). Muestra la tabla de la interpretación de los valores del potencial zeta

**Tabla 2**

*Valores del potencial zeta*

Valores del potencial zeta	Características de la suspensión
-3 a 0 mV	Aglomeración máxima y precipitación
-1 a -5 mV	Excelente aglomeración y precipitación
-5 a -10 mV	Buena aglomeración y precipitación
-11 a -20 mV	Comienzo de la aglomeración
-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 a 100 mV	Estabilidad máxima (para sólidos)
-101 a -125 mV	Estabilidad máxima (para emulsiones)

Fuente: Aguilar (2002).

### **1.10. Propiedades tecnofuncionales del almidón**

Las propiedades tecnofuncionales dependen directamente de la relación entre amilosa y la amilopectina, la cual, puede depender de la variedad, la especie, composición de la materia prima, el suelo, la edad de la planta y de más factores (Aristizabal, 2007).

Cuando el almidón se somete a tratamientos hidrotérmicos, sufre cambios fisicoquímicos y estructurales, que provocan cambios en la organización de las moléculas de amilosa y la amilopectina: Debido a que son calentados a temperaturas cercanas a la gelatinización, en la cual los enlaces de puente de hidrogeno que hay entre la región cristalina de los gránulos son destruidos, posteriormente se lleva a cabo la introducción de agua e hidratación de los segmentos de las moléculas de amilopectina, esto es el resultado del hinchamiento y solubilidad de sus componentes (Whistler y BeMiller, 1997).

#### **1.10.1. Temperatura de gelatinización**

Es la temperatura a la que el almidón comienza a perder su estructura molecular, a la que se rompen los enlaces de hidrógeno de la región amorfa del gránulo de almidón, permitiendo que el agua se una a los grupos hidroxilo libres del agua. Depende de varios aspectos como el porcentaje de

amilosa, forma y el tamaño del granulo del almidón, por estas características cada almidón tiene un intervalo de gelatinización diferente (Sánchez, 2007).

### **1.10.2. Sinéresis**

Sinéresis o la estabilidad congelación/descongelación es un cambio físico o coloidal particular que toma lugar en los almidones y otro tipo de geles en la medida en que envejecen. Esto es causado por la cristalización o agregación de polímeros, esto causa la pérdida de agua desde la superficie de los compuestos. Esto pasa comúnmente con los geles de almidón, particularmente cuando son sometidos a procesos de congelación/descongelación (Pateras, 1998).

La retrogradación o sinéresis es el comportamiento de recristalización de almidones gelatinizados durante enfriamiento y almacenamiento, este proceso es acompañado por el endurecimiento y la filtración de agua del gel de almidón (Lían et al., 2014).

Durante el almacenamiento en frío del gel de almidón, la organización de las moléculas de almidón dan como resultado la exudación de agua o mejor conocido como la sinéresis, esto produce cambios en las propiedades funcionales del almidón, se da una asociación de tipo cristalino de la amilosa, esto se manifiesta con la pérdida de agua del gel; la amilosa sufre una retrogradación cuando el gel es sometido a procesos de congelación/descongelación cuando el agua se congela y se descongela por la fusión de los cristales no se vuelve a reasociar con el almidón (Vaclavick, 1998).

### **1.10.3. Poder de hinchamiento**

El poder de hinchamiento es la medida de la capacidad que tiene el almidón para hidratarse y aumentar su volumen bajo algunas condiciones específicas como: temperatura y disponibilidad de agua (Hoover, 1996).

Se manifiesta debido a las fuerzas de enlaces presentes en el interior del gránulo del almidón, por esta razón los gránulos de almidón son altamente asociados con una estructura micelar extensa y frecuentemente enlazada, estos generalmente muestran mayor resistencia al hinchamiento (Tester y Morrison, 1990).

#### **1.10.4. Solubilidad**

La solubilidad es la capacidad de una sustancia o soluto de disolverse en un medio llamado solvente como puede ser la sal en agua, café con leche etc. a solubilidad no es una característica universal de todas las sustancias, pues sabemos que algunas sustancias se disuelven mejor en otras y otras no. El agua se denomina disolvente universal, pero no puede disolver completamente el aceite, por ejemplo, a temperaturas normales. Sin embargo, si cambiamos la temperatura y/o presión a la que se forma la mezcla o añadimos otras sustancias concretas, es posible variar la solubilidad de determinados solutos en determinados disolventes. La solubilidad es la medida de la capacidad de una sustancia particular para disolverse en otra. Podemos expresar esto en moles/L, en g/L o como porcentaje de soluto. La sustancia que se disuelve se llama soluto y la sustancia en la que se disuelve el soluto se llama disolvente. En la solubilidad el carácter polar o apolar de la sustancia o producto influye mucho ya que, debido a esto el producto será más o menos soluble, por ejemplo, los compuestos con más de un grupo funcional tienen gran polaridad por lo que no son solubles en éter etílico. (Picado, 2015).

#### **1.11. Características estructurales del almidón**

El tamaño y la forma del gránulo del almidón varía con el grano. El almidón es un producto no uniforme, los almidones contienen dos polímeros: amilosa y amilopectina que se encuentran en proporciones diferentes en los granos dependiendo del origen de estos (Swinkels, 1985).

Los gránulos de almidón tienen regiones amorfas y cristalinas. La región cristalina tiene un alto grado de organización y se compone principalmente de amilopectina, mientras que la amorfa es rica en amilosa y tiene menor organización (Rooney y Pflugfelder, 1986).

El estudio de la estructura del almidón está enfocado a descifrar la estructura en forma fina de las cadenas, longitud y distribución el peso molecular (número, promedio), el grado de polimerización, la longitud de las cadenas y su distribución, la poli-dispersión (Buleon et al., 1998).

**Tabla 3***Características de los gránulos de almidón de diferentes productos*

	Almidón (%)	Tipo	Diámetro del granulo (μm)	Forma
Maíz	71	Cereal	3-26	R,P
Papa	82	Tubérculo	5-100	O,S
Trigo	74	Cereal	2-35	R,L
Yuca	77	Raíz	4-35	O,S
Maíz (Waxy)	71	Cereal	3-26	R,P
Sorgo	75	Cereal	3-8	P,A
Arroz	89	Cereal	3-8	R,D

Fuente: Swinkels(1985) R: redondo; P: poligonal; O: Oval S: esférico L: lenticular T: truncado; A: angular

### 1.12. Marco conceptual

**Almidón:** el almidón es un polisacárido compuesto por amilosa y amilopectina en un 30 y 70% respectivamente. Es una fuente de almacenamiento de energía en plantas como: cereales, raíces, tubérculos, frutas y semillas ( Luo et al., 2019).

**Almidón de papa:** se llama fécula a los almidones de origen de tubérculos como la papa, es un espesante y estabilizante natural bastante utilizando en la industria alimentaria, tiene un contenido de 20-80% de amilosa y amilopectina respectivamente( Luo et al., 2019).

**Esterificación:** proceso por el cual se sintetiza un éster, es un método químico para la sustitución de grupos hidroxilo (OH) en unidades de glucosa ( Punia et al., 2019 ).

**Almidón nativo:** almidón sin ningún tipo de modificación, deficiencia de los almidones nativos es aguantar condiciones de procesamiento como temperatura extrema, pH variables y alta velocidad de cizallamiento los hace no aptos para algunas aplicaciones en la industria alimentaria (Obadi & Xu, 2021 ).

**Almidón modificado:** almidón que ha sufrido una modificación ya seas química, física o enzimática provocando un rompimiento en sus enlaces para cambiar o mejorar sus propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y estructurales (Wang et al., 2020).

**Color:** el color está relacionado con las características sensoriales, la composición química por ello es uno de los factores que define la calidad de un producto alimentario; es una de

características de calidad de los alimentos y la principal característica perceptible por el consumidor (Santana et al. 2013).

**Potencial zeta:** es la medida de la magnitud repulsión o atracción electrostática o de carga entre las partículas. La medición del potencial zeta nos aporta información detallada de las causas de la dispersión, agregación o floculación, esto se puede aplicar para optimizar la formulación de emulsiones, suspensiones y dispersiones, es uno de los parámetros fundamentales que afectan la estabilidad (Hunter, 1998).

**Sinéresis:** la extracción o expulsión de un líquido de un gel, por lo que el gel pasa de ser una sustancia homogénea a una segregación de componentes sólidos separados y contenidos en la fase líquida; también llamado retrogradación tiene comportamiento de recristalización de almidones gelatinizados durante el enfriamiento y el almacenamiento, la filtración de agua del gel de almidón, un claro ejemplo cuando la gelatina comienza a liberar agua al dejarse al aire libre(Lian et al., 2014).

**Actividad de agua:** es el agua libre disponible para el crecimiento de microorganismos, actividad química, enzimática durante la conservación del alimento; es un parámetro muy importante ya que este define la vida útil de un producto, se mide en un rango de 0 a 1 (Cardona, 2019).

**Tamaño de partícula:** el tamaño de las partículas es la medición de que tan grande o pequeño son, se puede medir en mm,  $\mu\text{m}$  y nm; también significa la distribución, es decir, no todas las partículas son del mismo tamaño. El tamaño de la partícula y la distribución de su tamaño tiene efectos sobre su viscosidad, solubilidad en agua fría entre otros (Hidalgo, 2016).

**Grado de sustitución:** El grado de sustitución está muy relacionado con la modificación química, este nos indica el promedio del número de sustituciones por unidad de anhidro glucosa en el almidón, un máximo grado de sustitución (DS) es 3 debido a que se presentan tres grupos hidroxilo disponibles por unidad de anhidro glucosa (Miladinov y Hanna, 2000).

**Propiedades físicas:** una propiedad física es una característica que describe una sustancia; dentro de las propiedades físicas del almidón podemos encontrar el color, contenido de humedad, actividad de agua, y tamaño de partícula (Emiliani, 1987).

**Propiedades químicas:** químicamente los almidones están conformados por la amilosa y amilopectina, la presencia de estos dos compuestos afecta directamente en las propiedades tecnofuncionales de los almidones (Sivack y Preiss 1998).

**Propiedades tecnofuncionales:** las propiedades tecnofuncionales dependen directamente de la relación entre amilosa y la amilopectina, la cual, puede depender de la variedad, la especie, composición de la materia prima, el suelo, la edad de la planta y de más factores (Aristizabal, 2007).

## CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 2. Materiales y Métodos

#### 2.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones de los Laboratorios de Investigación de Nanotecnología de Alimentos (LINA), Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos (LIMTA) y Laboratorio de Investigación Agroindustrial (LIA) de la Universidad Nacional José María Arguedas, ubicado en el Jr. 28 de julio 1103 del distrito de Talavera.

#### 2.2. Identificación de variables

##### 2.2.1. Variables independientes

- ✓ Almidón de papa modificado (0%, 1.5% y 3%)
- ✓ Variedades de papa (factor de bloque)

##### 2.2.2. Variables dependientes

- ✓ Propiedades físicas
- ✓ Propiedades químicas
- ✓ Propiedades tecnofuncionales.

#### 2.3. Materiales, instrumentos y equipos

Los materiales que se usaron en el desarrollo del presente trabajo de investigación se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Materiales*

Cantidad	Descripción
2	Mortero de ágata
3	Balde de plástico de 5L
36	Placa Petri
36	Tubo falcón de 50 mL
36	Tubo falcón de 15 mL
5	Fiola de 50 mL
5	Fiola de 100 mL
5	Fiola de 250 mL
10	Vaso de precipitado de 50 mL

5	Vaso de precipitado de 250 mL
5	Vaso de precipitado de 500 mL
5	Vaso de precipitado de 1000 mL
3	Bureta de 50 mL
3	Bureta de 10 mL
6	Soporte universal
5	Espátula de metal
5	Probeta de 10 mL
5	Probeta de 50 mL
5	Probeta de 100 mL
2	Pizeta de 500 mL
20	Pote de plástico
2	Gotero
3	Papel tissue
50	Guantes de nitrilo azul
15	Tubo de ensayo de 15 mL
5	Pipeta de 10 mL
2	Gradilla
5	Luna de reloj
2	Espátula de goma
5	Goteros
2	Telas para filtrar
2	Cuchillo
1	Tabla de picar
100	Mascarilla

---

Los instrumentos que se emplearon en el desarrollo del trabajo de investigación se detallan en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Instrumentos*

Cantidad	Descripción	Marca	Modelo
2	pH metro	HANNA	HI5522
6	Termómetro digital	ANGO	-
3	Micropipeta	-	-
1	Medidor de actividad de agua	Rotronic	-

Los equipos que se usaron en el desarrollo del presente trabajo de investigación se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Equipos*

Cantidad	Descripción	Marca	Modelo
1	Refrigeradora	LG	LM57SDT
1	FTIR	THERMO SCIENTIFIC	-
1	Tamizador eléctrico	RETSCH	AS 200
1	Estufa	BINDER	-
1	Centrifuga	CENTURIÓN	-
1	Baño maría	BOROSIL	HH-S1
1	Agitador Vortex	-	-
1	Mastersizer 3000	MALVERN	-
1	Zetasizer	MALVERN	-
1	Espectrofotómetro UV	THERMO SCIENTIFIC	GENESYS 150
1	Balanza analítica	PIONEER	PX224/E
6	Agitador magnético	CAT	M6
1	Colorímetro	Konica Minolta	CR-5

La Tabla 7 muestra los reactivos que se usaron para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

**Tabla 7**

*Reactivos*

Cantidad	Descripción
50 g	AOS (anhidrido octenil succínico)
250 g	Hidróxido de sodio (NaOH)
250 g	Ácido cítrico
40 L	Agua destilada
10 L	Agua ultra pura
4 L	Metanol 96%
6 L	Isopropanol 99%
100 mL	Ácido clorhídrico
25 g	Bromuro de potasio KBr
25 g	Ácido acético CH <sub>3</sub> COOH
2 L	Metanol 90%

## **2.4. Población y muestra**

### **2.4.1. Población**

La población está referida a la totalidad de almidones modificados extraídos de 2 variedades de papas peruanita y putis cultivados en el distrito de Tumay Huaraca, provincia de Andahuaylas, región de Apurímac.

### **2.4.2. Muestra**

La muestra está referida a una porción de los almidones modificados, el tamaño de muestra se determinó en función a los análisis que se realizaron las cantidades utilizadas se especifican en la metodología de cada propiedad a evaluar.

### **2.4.3. Tipo de muestreo**

El tipo de muestreo que se utilizó fue no probabilístico de juicio, ya que se seleccionó las muestras sobre la base del conocimiento y el juicio propio del investigador.

## **2.5. Tipo de investigación**

Aplicado: La investigación se aplica porque los conocimientos adquiridos se utilizan de tal manera que los resultados obtenidos sean aplicables o útiles para la industria alimentaria y diversos derivados de productos de valor agregado.

Experimental: debido a que se va para probar la hipótesis planteada, mediante la manipulación y medición de las variables en una situación controlada.

## **2.6. Metodología experimental**

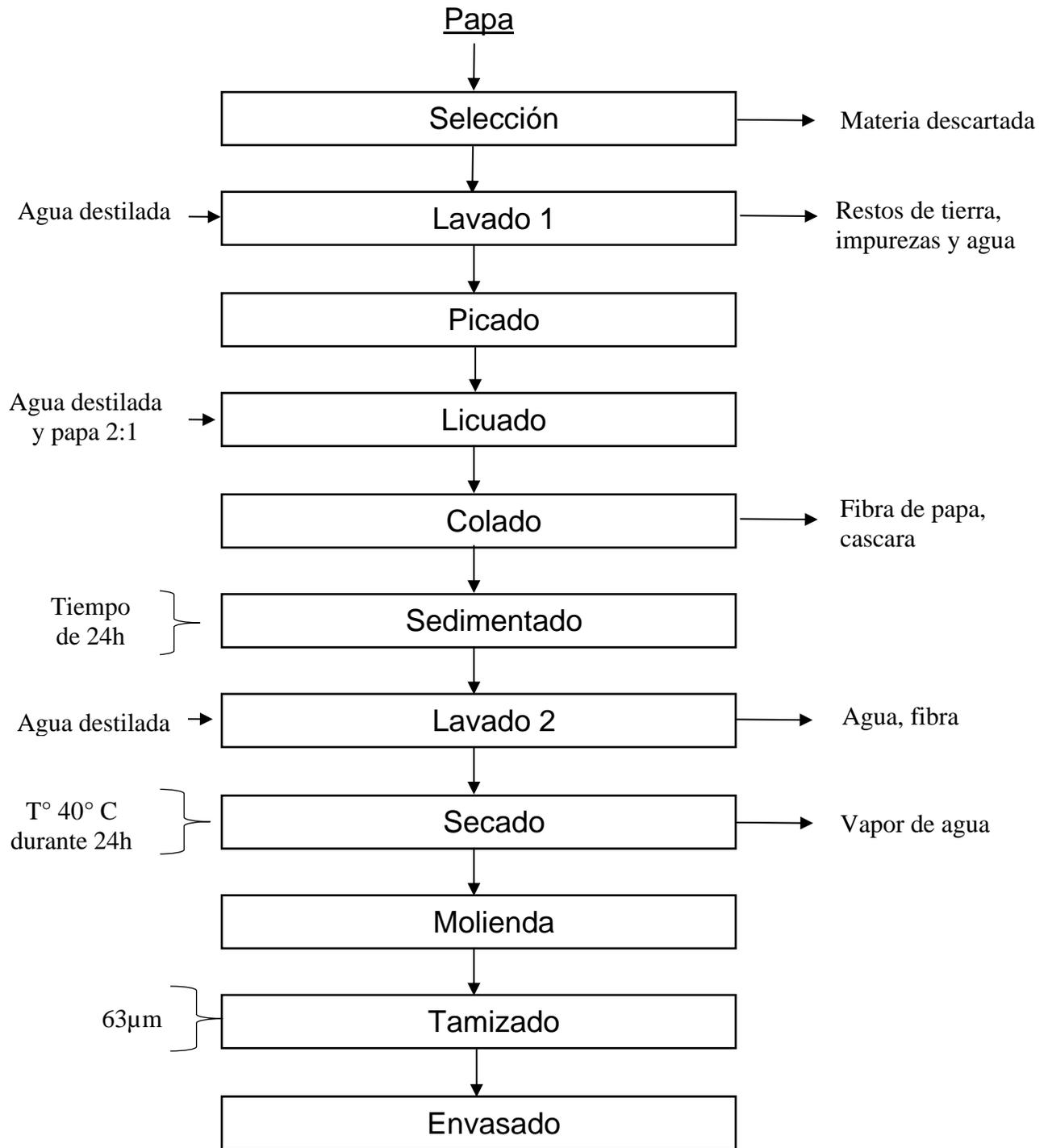
### **2.6.1. Proceso de extracción del almidón de papa**

Se realizó empleando la metodología propuesta por Velásquez (2019) con algunas modificaciones.

- 1. Recepción:** se usó materia prima (papa) proveniente del distrito de Tumay Huaraca comunidad de Umamarca.
- 2. Selección:** se seleccionaron las papas que estén en buen estado, desechando las papas con magulladuras u otras imperfecciones.
- 3. Lavado 1:** se usó agua potable para hacer el lavado de las papas, en este proceso se eliminó los restos de tierra así mismo materias extrañas pegadas a los tubérculos.

- 4. Picado:** se realizó el picado de las papas de manera manual con un cuchillo de acero inoxidable y una tabla de picar.
- 5. Licuado:** se licuó para reducir el tamaño y obtener partículas más pequeñas de la papa para así poder separar la fibra del almidón la relación agua papa fue de 2:1.
- 6. Colado:** se filtró con una tela para separar la fibra y la cascará de la papa del almidón.
- 7. Sedimentado:** una vez colado se dejó reposar durante 24 horas a una Temperatura ambiente de 18 °C hasta que sedimente el almidón.
- 8. Lavado 2:** se realizaron varios lavados y sedimentados (2 horas) hasta que se eliminó por completo los restos de fibra y tierra que había en el almidón de papa.
- 9. Secado:** una vez lavado, el almidón estaba libre de impurezas se llevó a secar a la estufa durante 24 horas a una temperatura de 40 °C.
- 10. Molienda:** se realizó de manera manual con mortero de ágata para evitar la contaminación del almidón.
- 11. Tamizado:** se tamizó en un tamizador eléctrico con una malla de 63µm.
- 12. Envasado:** se envasó en frascos de plástico.

Figura 6 Diagrama de flujo extracción de almidón de papa



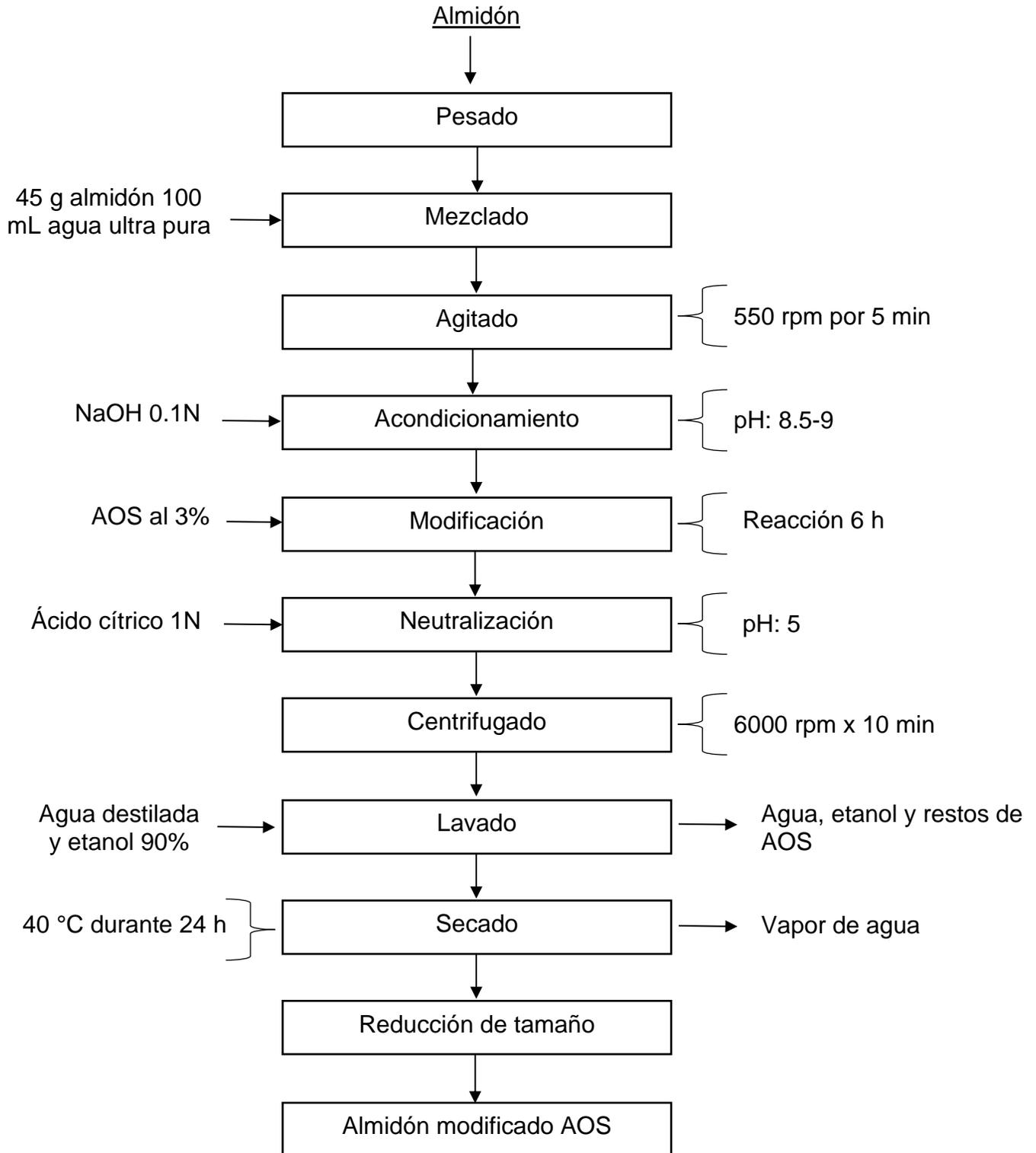
Fuente: Velásquez 2019

### 2.6.2. Proceso de modificación del almidón de papa con AOS

Se realizó empleando la metodología propuesta por Velásquez (2019) con algunas modificaciones.

1. **Pesado:** se pesó 45 gramos de almidón utilizando una balanza analítica.
2. **Mezclado:** se mezcló 45 gramos de almidón con 100 mL de agua ultra pura en un vaso de precipitado de 200 mL.
3. **Agitado:** una vez mezclado el almidón con agua, se homogenizó usando un agitador magnético a 550 rpm.
4. **Acondicionamiento:** seguidamente se acondicionó la mezcla a un pH de 8.5-9 agregando hidróxido de sodio (NaOH) a 0.1N.
5. **Modificación:** se añadió el anhídrido octenil succínico gota a gota, en constante agitación a 550 rpm durante 2 horas, después se dejó reaccionar por un tiempo de 6 h.
6. **Neutralización:** una vez pasada las 6 horas se acondicionó a un pH de 5 agregando ácido cítrico a 0.1N.
7. **Centrifugado:** una vez neutralizado la suspensión se centrifugó a 6000 rpm por 10 minutos.
8. **Lavado:** se realizaron 3 lavados con agua destilada y un lavado final con etanol al 90% en la centrifuga a 6000 rpm por 5 minutos.
9. **Secado:** se puso a secar en la estufa a 60 °C durante 24 horas.
10. **Reducción de tamaño:** se realizó una molienda manual con el mortero de ágata para evitar la contaminación del almidón.

Figura 7 Diagrama de flujo modificación de almidón AOS



Fuente: Velásquez 2019.

## 2.7. Métodos de análisis

### 2.7.1. Propiedades físicas

- **Color**

El color se determinó siguiendo la metodología de (Mulder, 1997) utilizando un colorímetro en el sistema CIE lab (L, a\* y b\*)

- ✓ Se calibró el colorímetro
- ✓ Luego se colocó aproximadamente 2 g de almidón en el porta muestras del colorímetro
- ✓ Se procedió a tomar lectura de los valores L, a\* y b\*

- **Índice de blancura**

Metodología según (Hunter, 1994). Se determinó con los datos obtenidos con el colorímetro L, a\* y b\* utilizando la siguiente ecuación:

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \dots \dots \dots (\text{Ec. I})$$

Donde:

L: luminosidad

a\*: Cromo a

b\*: Cromo b

- **Contenido de humedad**

Se utilizó la Norma Técnica Peruana 209.067, 2007.

Procedimiento:

- ✓ Se pesó 5 g de almidón en una placa Petri
- ✓ Se dejó secar en la estufa hasta un peso constante a 105 °C
- ✓ Se sacó de la estufa y dejó enfriar en el desecador para evitar que absorba humedad
- ✓ Se pesó inmediatamente retirado del desecador

El contenido de humedad se determinó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso de la muestra inicial} - \text{Peso de la muestra final}}{\text{Peso de la muestra inicial}} * 100 \dots \dots \dots (\text{Ec. II})$$

- **Actividad de agua (AW)**

Se determinó utilizando el medidor de actividad de agua de la marca Rotronic, según (Leiva, 2018).

Procedimiento:

- ✓ Se calibró el medidor de actividad de agua
- ✓ Se colocó aproximadamente 2 g de almidón en el porta muestras del medidor de actividad de agua
- ✓ Se tomo lectura

- **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 equipo Mastersizer 3000 (Malvern Instruments, Worcestershire, Reino Unido).

- ✓ Se dispersó 0.15 g de almidón en 250 ml de alcohol isopropílico
- ✓ Luego se sonicaron por 30 segundos hasta alcanzar el oscurecimiento óptimo en el equipo
- ✓ Se procedió a medir en el equipo
- ✓ Se obtuvieron 5 resultados por cada muestra

## 2.7.2. Propiedades químicas

- **Grupos funcionales.**

Se determinó con un FTIR (Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier) método descrito por Hoyos-Leyva et al. (2017).

- ✓ Previo al análisis FTIR, se realizaron pellets con 200 mg de KBr y 20 mg de almidón homogenizado en un mortero de ágata
- ✓ Los pellets se prensaron en una prensa manual
- ✓ Los espectros se recogieron con un módulo de transmisión, a 32 barridos y  $8\text{ cm}^{-1}$  de resolución, el rango medio del infrarrojo  $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$  región del número de onda
- ✓ Se utilizó como fondo el pellet con KBr
- ✓ Se prosiguió a medir con el FTIR
- ✓ Finalmente se realizó el procesamiento con el software

- **pH**

Se utilizó el método (AOAC, 2003) utilizando un pH-metro

Procedimiento:

- ✓ Se calibró el pH-metro con soluciones tampón de pH 4,0 y 7,0 antes de proceder a medir la muestra
- ✓ Se pesaron 5 gramos de almidón
- ✓ Se mezcló en un vaso de precipitado el almidón con agua ultra pura a una relación de 1:5 (5 g de almidón con 25 ml de agua destilada) a temperatura ambiente
- ✓ Se agitó la mezcla durante 5 minutos hasta homogenizar
- ✓ Se procedió a medir con el pH-metro y dar lectura del pH

- **Determinación del contenido de amilosa y amilopectina**

Para la determinación del contenido de amilosa se utilizó el método propuesto por Galicia et al. (2012) con algunas modificaciones.

- ✓ Se pesó 0.02 g de almidón y se colocaron en tubos falcón de 50 mL
- ✓ Luego se agregó 0.2 ml de etanol al 95% haciendo que este caiga por las paredes de los tubos falcón con muestra de almidón
- ✓ Se agregaron 1.8 ml de hidróxido de sodio al 1 M, seguidamente se dejó reposar a temperatura 20°C por 24 horas
- ✓ Pasado las 24 horas, se ajustó el volumen a 20 ml con agua ultra pura (18 ml) luego se agitó en un vortex por 5 min a 3000 rpm
- ✓ Se dejó reposar y se continuó con la reacción colorimétrica hasta ver que la espuma disminuya
- ✓ Luego se tomó 1 mL de la solución y se p
- ✓ asó a otro tubo falcón de 50 mL
- ✓ Se agregó 2 mL de ácido acético al 1 M y agitamos el tubo
- ✓ Luego agregamos 0.4 ml de solución de Lugol y ajustamos el volumen a 20 ml (18.4 ml de agua ultra pura), luego se agitó el tubo y se dejó formar el color por 20 min (proteger los viales de la luz)
- ✓ Se añadió las muestras a las cubetas y se colocó 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 la amilopectina se determinó como la diferencia de la amilosa.

$$\%Amilosa = \frac{Y + 0.0168}{1.4075} \dots \dots \dots \text{(Ec. III)}$$

Donde:

Y= Absorbancia medida en el espectrofotómetro.

La curva de calibración se muestra en el (Anexo 13).

• **Grado de sustitución**

Se determinó por el método propuesto por Timgren et al. (2013)

Procedimiento:

- ✓ Se pesó 1.25 g de almidón modificado AOS
- ✓ En un tubo falcón se mezcló con 12.5 mL de HCL 0.1 mol/L
- ✓ La mezcla se agitó durante 30 minutos
- ✓ Se centrifugó la suspensión a 6000 rpm durante 10 minutos.
- ✓ Se lavó el sedimento con 25ml de etanol al 90% y agua destilada (3 lavados)
- ✓ El almidón lavado se diluyó en 50 mL de agua destilada, luego se calentó hasta el punto de ebullición en un baño maría durante 10 min
- ✓ Se enfrió a temperatura ambiente
- ✓ La solución de almidón se tituló con NaOH 0.1 mol/L hasta un pH de 8.3
- ✓ Se preparó blanco con almidón nativo de la misma variedad que el almidón modificado con AOS
- ✓ El grado de sustitución de AOS (número de grupos AOS/unidad de glucosa anhidra) en los gránulos de almidón se calculó utilizando la siguiente ecuación

$$GS = \frac{0.16*(A*M)/W}{1-(0.210*(A*M)/W)} \dots \dots \dots \text{(Ec. IV)}$$

Donde:

A= Gasto de NaOH del almidón modificado menos el almidón nativo(mL).

M= Molaridad del NaOH.

W= Es el peso seco (g) del almidón.

### 2.7.3. Propiedades tecnofuncionales

- **Solubilidad en agua**

Se determinó según la metodología descrita por Gani et al (2014)

Procedimiento:

- ✓ Se pesó 0.24g de almidón (M1) en tubos de ensayo, luego se agregó 12 mL de agua destilada para su dilución
- ✓ Se colocó los tubos en un baño maría con agitación constante a 50, 60, 70, 80 y 90°C por 30 minutos luego se dejó enfriar a temperatura ambiente
- ✓ Se centrifugó a 6000 rpm por 30 minutos
- ✓ Después de centrifugar el sobrenadante se retiró cuidadosamente para colocando en placas Petri, luego se pusieron a secar a 90°C durante 24 h.
- ✓ Luego el sobrenadante seco se pesó (M2)

La solubilidad en agua del almidón se calculó utilizando la siguiente ecuación

$$S = \frac{M2}{M1} * 100 \quad \dots \dots \dots \text{(Ec. V)}$$

Donde:

M1: peso del almidón inicial

M2: peso del sobrenadante seco

- **Poder de hinchamiento**

Se determinó según la metodología descrita por Gani et al (2014)

Procedimiento:

- ✓ Se pesó 0.24g de almidón (M1) en tubos de ensayo, luego se agregó 12 mL de agua destilada para su dilución
- ✓ Se colocó los tubos en un baño maría con agitación constante a 50, 60, 70, 80 y 90°C por 30 minutos luego se dejó enfriar a temperatura ambiente
- ✓ Se centrifugó a 6000 rpm por 30 minutos
- ✓ Después de centrifugar el sobrenadante se retiró cuidadosamente para colocando en placas Petri, luego se pusieron a secar a 90°C durante 24 h.
- ✓ Luego el sobrenadante seco se pesó (M2)
- ✓ El sedimento del almidón hinchado se pesó (M3)

El poder de hinchamiento se calculó utilizando la siguiente ecuación

$$PH = \frac{M3}{M1 - M2} \dots \dots \dots (Ec. VI)$$

Donde:

M1: peso del almidón inicial (g)

M2: peso del sobrenadante seco (g)

M3: peso del gel hinchado (g)

- **Capacidad de absorción de agua**

Se determinó según la metodología descrita por Gani et al (2014)

Procedimiento:

- ✓ Se pesó 0.24g de almidón (M1) en tubos de ensayo, luego se agregó 12 mL de agua destilada para su dilución
- ✓ Se colocó los tubos en un baño maría con agitación constante a 50, 60, 70, 80 y 90°C por 30 minutos luego se dejó enfriar a temperatura ambiente
- ✓ Se centrifugó a 6000 rpm por 30 minutos
- ✓ El sedimento del almidón hinchado se pesó (M2)

La capacidad de absorción de agua se calculó utilizando la siguiente ecuación

$$CAA = \frac{M2}{M1} \dots \dots \dots (Ec. VII)$$

Donde:

M1: peso del almidón inicial (g)

M2: peso del gel hinchado (g)

- **Temperatura de gelatinización**

Se utilizó la metodología descrita por (Grace, 2014).

Procedimiento:

- ✓ Se pesó 10 g de almidón y se mezcló en un vaso de precipitado de 250 mL con 100 mL agua destilada
- ✓ Se agitó hasta homogenizar la mezcla
- ✓ Se procedió a colocar el vaso en un baño maría a 90°C
- ✓ Se agitó constantemente la suspensión de almidón hasta que se formó una pasta y la temperatura permaneció estable por unos segundos
- ✓ Luego se procedió a tomar lectura de la temperatura con el termómetro

- **Sinéresis**

Se usó la metodología descrita por (Rached, 2006).

Procedimiento:

- ✓ Se pesó 1 g de almidón (M1) y se suspendió con 20 mL de agua ultra pura en un tubo falcón
- ✓ Se gelificó en un baño maría a 90°C por 10 minutos
- ✓ Se enfrió en un shock térmico con hielo hasta temperatura ambiente de 20°C
- ✓ Se almacenó las muestras a 4°C durante 24, 48 y 72 h
- ✓ La sinéresis se midió como el porcentaje de agua (%) liberada después de centrifugar las muestras a 2300 rpm por 15 minutos

$$\% \text{Sinéresis} = \frac{\text{Peso de la muestra}(M1) - \text{peso del gel}(M2)}{\text{peso de la muestra}(M1)} * 100 \quad \dots \dots \dots \text{(Ec. VIII)}$$

Donde:

M1: peso inicial del almidón usado (g)

M2: peso del gel después de centrifugar(g)

- **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
- ✓ Se colocó el almidón en un tubo falcón con 50 mL de agua ultra pura
- ✓ Luego se agitó la mezcla con un vortex a 3000 rpm
- ✓ Con una jeringa se pasó a colocar la muestra en una celda capilar plegada desechable DTS1080
- ✓ Se procedieron a leer en el equipo Zetasizer

## 2.8. Diseño experimental

El diseño experimental que se usó en el proyecto fue un Diseño de Bloques Completo al Azar (DBCA), este tipo de diseño cuenta con tres fuentes de variabilidad debido al factor de interés (almidón de papa modificado), factor de bloque (variedades de la papa) y error atribuido a la medición. La matriz de diseño se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Matriz de diseño*

Factor de interés									
Factor de bloque (variedad de papa)	Almidón nativo (0% AOS)			Almidón modificado (1.5% AOS)			Almidón modificado (3% AOS)		
	P. F	P. Q	P. T	P. F	P. Q	P. T	P. F	P. Q	P. T
Variedad 1	y(1,1)1	y(1,2)1	y(1,3)1	y(1,1)1	y(1,2)1	y(1,3)1	y(1,1)1	y(1,2)1	y(1,3)1
	y(1,1)2	y(1,2)2	y(1,3)2	y(1,1)2	y(1,2)2	y(1,3)2	y(1,1)2	y(1,2)2	y(1,3)2
	y(1,1)3	y(1,2)3	y(1,3)3	y(1,1)3	y(1,2)3	y(1,3)3	y(1,1)3	y(1,2)3	y(1,3)3
Variedad 2	y(2,1)1	y(2,2)1	y(2,3)1	y(2,1)1	y(2,2)1	y(2,3)1	y(2,1)1	y(2,2)1	y(2,3)1
	y(2,1)2	y(2,2)2	y(2,3)2	y(2,1)2	y(2,2)2	y(2,3)2	y(2,1)2	y(2,2)2	y(2,3)2
	y(2,1)3	y(2,2)3	y(2,3)3	y(2,1)3	y(2,2)3	y(2,3)3	y(2,1)3	y(2,2)3	y(2,3)3

Fuente: Gutiérrez, 2014.

El modelo estadístico para este diseño está dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + Y_j + \varepsilon_{ij} \quad (i=1,2\dots k; j=1,2\dots b)$$

donde  $Y_{ij}$  es la medición que corresponde al tratamiento  $i$  y al bloque  $j$ ;  $\mu$  es la media global poblacional;  $\tau_i$  es el efecto debido al tratamiento  $i$ ,  $Y_j$  es el efecto.

### Pruebas estadísticas

Se realizaron un análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia del 5%.

### **Hipótesis para las concentraciones de AOS**

**$H_0$** : los almidones modificados por esterificación no muestran diferencias significativas sobre las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales.

**$H_A$** : los almidones modificados por esterificación muestran diferencias significativas sobre las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales.

Al rechazar la hipótesis nula se realizó una prueba de rangos múltiple LSD. Además, los resultados se reportaron empleando medidas de tendencia central y de dispersión. Los datos fueron procesados empleando el paquete estadístico Statgraphics.

También se realizó la prueba Dunnett para comparar los almidones nativos con los modificados para ver si hubo algún cambio, se consideró como la variable de control a los almidones nativos de cada variedad. Los datos fueron procesados empleando el software Minitab 17.

### **Hipótesis para el factor bloque (variedad de papa)**

**$H_0$** : el factor bloque (variedad de papa) no muestran diferencia significativa en las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales.

**$H_A$** : el factor bloque (variedad de papa) muestran diferencia significativa en las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales.

Se recomienda la interpretación de los factores inhibidores porque proporciona evidencia a favor o en contra de que los esfuerzos por controlar los factores inhibidores no son inútiles. Si es significativo significa que el factor de bloqueo influye en la variable respuesta y debe ser tenido en cuenta para mejorar su calidad. Sin embargo, si no se rechaza y se acepta que los bloques tienen el mismo promedio de respuesta, entonces hay un argumento a favor de que este factor no sea controlado en experimentos posteriores sobre la misma respuesta, aparte de que su efecto sobre la calidad de la respuesta no es significativa.

## CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 2.9. Propiedades físicas

#### 2.9.1. Color de almidón nativo y modificado

Los resultados del color de los almidones nativos y modificados con AOS se muestran en la Tabla 9, el color se determinó en el sistema CIE-lab (L a\* b\*); se puede observar que no existe diferencia significativa para luminosidad (valor  $p > 0.05$ , anexo 1), mientras que el croma a\* y b\* presentaron diferencia significativa (valor  $p < 0.05$ , Anexo 1). Los valores de luminosidad variaron entre 90.15 a 92.82, indicando tendencias fuertes al color blanco, en cuanto al croma a\* los niveles oscilaron entre -0.33 a 0.20 mostrando tendencias ligeras a verde, y el croma b\* presentó valores entre 1.91 a 3.41 indicando tendencia ligera al color amarillo; el almidón que mostró mayor luminosidad fue PE 1.5% y el de menor luminosidad PU 1.5%, para el croma a\* el que presentó mayor valor fue PU 0%, mientras tanto para el croma b\*, el que presento mayor valor fue PU 0% y el menor PE 3%. La variable bloque tuvo efecto significativo para L, croma a\* y croma b\* (valor  $p < 0.05$ , Anexo 1).

**Tabla 9**

*Valores del color L a\* b\**

Color	L			a*			b*			Dunnett					
	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV(%)	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV(%)	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV(%)	L	a*	b*
PE0%	92.22	$\pm$	0.017 <sup>a</sup>	0.019	-0.28	$\pm$	0.012 <sup>a</sup>	-4.075	1.98	$\pm$	0.026 <sup>a</sup>	1.336	A	A	A
PE1.5%	92.82	$\pm$	0.025 <sup>b</sup>	0.027	-0.33	$\pm$	0.006 <sup>b</sup>	-1.767	1.97	$\pm$	0.015 <sup>a</sup>	0.777	-	-	A
PE3%	92.26	$\pm$	0.031 <sup>a</sup>	0.033	-0.23	$\pm$	0.006 <sup>c</sup>	-2.547	1.91	$\pm$	0.035 <sup>a</sup>	1.842	A	-	-
PU0%	90.82	$\pm$	0.038 <sup>c</sup>	0.042	0.20	$\pm$	0.003 <sup>d</sup>	0.000	3.41	$\pm$	0.012 <sup>b</sup>	0.338	B	B	B
PU1.5%	90.15	$\pm$	0.182 <sup>d</sup>	0.202	0.07	$\pm$	0.006 <sup>e</sup>	8.660	3.02	$\pm$	0.104 <sup>c</sup>	3.443	-	-	-
PU3%	90.60	$\pm$	0.038 <sup>e</sup>	0.042	0.12	$\pm$	0.010 <sup>f</sup>	8.333	3.16	$\pm$	0.015 <sup>d</sup>	0.484	B	-	-

Nota:  $\bar{x}$ : promedio muestral, L: luminosidad, a\*: croma a, b\*: croma b, S: desviación estándar muestral, Superíndice: valores con diferentes letras son significativamente diferentes, CV: coeficiente de variabilidad, Dunnett: prueba para realizar comparaciones planeadas comparar cada grupo con un grupo control, PE0%: almidón nativo peruanita, PE1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% peruanita, PE3%: almidón modificado con AOS al 3% peruanita, PU0%: almidón nativo putis, PU1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% putis, PU3%: almidón modificado con AOS al 3% putis.

El color es una de las propiedades físicas de los almidones que tiene un rol muy importante en muchas aplicaciones alimentarias donde se recomienda la calidad del color (Guo et al., 2019).

Según (Badui, 2001) las diferencias en el color del almidón de papa varían de acuerdo a la cantidad de amilosa y amilopectina, la presencia de antocianinas y carotenoides. A sí mismo, Salas (2018) confirmó la presencia de antocianinas en papas nativas de pigmentación oscura y presencia de carotenoides en los de color amarillo; con esto podemos decir que la variación de la luminosidad, croma a\* y croma b\* en el trabajo de investigación se dio por la variedad; esto se debe a que la variedad putis presenta una pigmentación oscura, que significa la presencia de antocianinas por ello se obtuvo menor luminosidad, mayor croma a\* y b\*; en cuanto a la modificación tuvo un efecto significativo en la variación del color esto se debe a la reducción del contenido de amilosa. Datos similares fueron reportados por, Martínez et al. (2019) de almidón de papa de L a\* b\* de 92.85 a 95.35, -0.12 a -0.23 y 1.62 a 2.90 respectivamente. Los resultados obtenidos en la presente investigación están dentro del rango reportado.

### 2.9.2. Índice de blancura de almidón nativo y modificado

Los resultados del índice de blancura se muestran en la Tabla 10, se puede observar que existe diferencia significativa (valor  $p < 0.05$ -Anexo 2), el índice de blancura se mide en el rango de 0 a 100, el índice de blancura oscilo entre 96.41 a 97.80; el almidón que presentó mayor índice de blancura fue PE 3% con 97.80 y de menor índice de blancura fue PU 0% con 96.41. La variable bloque tuvo efecto significativo para el índice de blancura (valor  $p < 0.05$ , Anexo 2).

**Tabla 10**

*Índice de blancura (%)*

	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV (%)	Dunnett
PE0%	97.72	$\pm$	0.024 <sup>a</sup>	0.024	A
PE1.5%	97.73	$\pm$	0.013 <sup>a</sup>	0.013	A
PE3%	97.80	$\pm$	0.030 <sup>a</sup>	0.030	-
PU0%	96.41	$\pm$	0.011 <sup>b</sup>	0.011	B
PU1.5%	96.78	$\pm$	0.097 <sup>c</sup>	0.100	-
PU3%	96.65	$\pm$	0.015 <sup>d</sup>	0.015	-

Nota:  $\bar{x}$ : promedio muestral, S: desviación estándar muestral, Superíndice: valores con diferentes letras son significativamente diferentes, CV: coeficiente de variabilidad, Dunnett: prueba para realizar comparaciones planeadas comparar cada grupo con un grupo control, PE0%: almidón nativo peruanita, PE1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% peruanita, PE3%: almidón modificado con AOS al 3% peruanita, PU0%: almidón nativo putis, PU1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% putis, PU3%: almidón modificado con AOS al 3% putis.

Luque et al., (2021) reportaron datos más bajos sobre el índice de blancura de almidón de 6 variedades de papa Ruckii, Locka, Ocucuri morado, Ccompis, Yana lomo y Yana imilla; de 90.94, 91.18, 90.54, 90.88, 90.34 y 90.10 respectivamente. A si mismo Himeda et al. (2012) reportó valores similares de índice de blancura de almidones de papa 94.95 - 96.00. Barraza y Siche, (2021) estimaron que un valor superior a 90 del índice de blancura refleja alta pureza del almidón aislado; el uso de esta característica se recomienda en la industria de alimentos para estandarizar el color del producto. Por otro lado, según García et al., (2012) afirman que el parámetro de blancura es un indicador de calidad del almidón, ya que la presencia de otros compuestos en el almidón disminuye el índice de blancura.

En la presente investigación los almidones modificados con AOS presentaron mayor índice de blancura con respecto a los nativos esto se justifica ya que los almidones modificados se lavaron(centrifugado) más veces con agua y etanol al 90%; esto permitió eliminar algunas impurezas que aún tenía el almidón nativo, por ello se incrementó el índice de blancura de los almidones modificados.

### **2.9.3. Humedad del almidón nativo y modificado**

Los resultados de humedad del almidón nativo y modificado de papa con AOS a diferentes concentraciones se muestran en la Tabla 11, se puede observar que hay diferencia significativa (valor  $p < 0.05$ -Anexo 3), los valores de la humedad oscilaron entre 8.39 a 9.71% el almidón que presentó mayor humedad fue PE0% con 9.71%, y el que presentó menor contenido de humedad fue PU1.5%. La variable bloque tuvo efecto significativo para el contenido de humedad (valor  $p < 0.05$ , Anexo 3).

**Tabla 11***Contenido de humedad (%)*

	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV(%)	Dunnett
PE 0%	9.71	$\pm$	0.230 <sup>a</sup>	2.370	A
PE 1.5%	8.68	$\pm$	0.290 <sup>ab</sup>	3.342	-
PE 3%	9.37	$\pm$	0.317 <sup>ab</sup>	3.389	A
PU 0%	9.31	$\pm$	0.572 <sup>ab</sup>	6.146	B
PU 1.5%	8.39	$\pm$	0.349 <sup>b</sup>	4.165	B
PU 3%	9.01	$\pm$	0.567 <sup>ab</sup>	6.291	B

Nota:  $\bar{x}$ : promedio muestral, S: desviación estándar muestral, Superíndice: valores con diferentes letras son significativamente diferentes, CV: coeficiente de variabilidad, Dunnett: prueba para realizar comparaciones planeadas comparar cada grupo con un grupo control, PE0%: almidón nativo peruanita, PE1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% peruanita, PE3%: almidón modificado con AOS al 3% peruanita, PU0%: almidón nativo putis, PU1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% putis, PU3%: almidón modificado con AOS al 3% putis.

Díaz (2015) reportó valores mayores de  $10.90 \pm 0.03$  de contenido de humedad para la variedad putis. Así mismo Hoover (2001) encontró que el contenido de humedad para el almidón de papa está en el rango de 7.0 a 13.3 %. Por otro lado, Velásquez (2019) reportó valores ligeramente menores de almidones nativos y modificados con AOS al 3% de mashua, oca y olluco nativo y modificado respectivamente ( $6.27 \pm 0.12$ ,  $7.32 \pm 0.24$  y  $7.04 \pm 0.43$ ); ( $7.81 \pm 0.14$ ,  $8.21 \pm 0.19$  y  $6.17 \pm 0.10$ ). Por otro lado, Moorthy (2002) señala que el contenido de humedad de los almidones de papa varía entre 6-16%; contenidos superiores pueden conducir a daño microbiano consecuencia de esto se dará el deterioro de la calidad del almidón. Las variaciones en el contenido de humedad se deben a la cantidad de amilosa, ya que esta tiene comportamiento higroscópico, de esta manera partículas absorben pequeñas cantidades de agua del ambiente, debido a que estas moléculas presentan terminales polares, los cuales atraen moléculas de agua, así mismo los altos contenidos de amilosa atraerán mayor contenido de agua (Vaclavick, 2002).

Los resultados obtenidos en la presente investigación están dentro del rango de los otros autores; las ligeras variaciones están influida por la cantidad de amilosa, ya que los almidones nativos presentaron mayor cantidad de amilosa y con la modificación se disminuyó la cantidad de amilosa por ello podemos notar la disminución en el contenido de humedad de los almidones modificados; otros factores como que afectan estas variaciones es: la temperatura de secado y tiempo de secado, lugar de almacenamiento, empaque usado para conservar así mismo el método utilizado para la determinación de la humedad.

#### 2.9.4. Actividad de agua del almidón nativo y modificado

Los resultados de actividad de agua del almidón nativo y modificado de papa con AOS a diferentes concentraciones se muestran en la Tabla 12, se puede observar que hay diferencia significativa (valor  $p < 0.05$ -Anexo 4) los valores de la actividad de agua variaron desde 0.323 hasta 0.405; el almidón que presentó mayor actividad de agua fue PU0%, y la que presentó menor actividad de agua fue PU3%.

La variable bloque no tuvo efecto significativo para la actividad de agua (valor  $p > 0.05$ , Anexo 4).

**Tabla 12**

*Contenido de actividad de agua*

	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV(%)	Dunnett
PE 0%	0.381	$\pm$	0.004 <sup>a</sup>	0.946	A
PE 1.5%	0.334	$\pm$	0.004 <sup>b</sup>	1.198	-
PE 3%	0.335	$\pm$	0.005 <sup>b</sup>	1.504	-
PU 0%	0.405	$\pm$	0.004 <sup>c</sup>	0.999	B
PU 1.5%	0.334	$\pm$	0.004 <sup>b</sup>	1.050	-
PU 3%	0.323	$\pm$	0.004 <sup>d</sup>	1.116	-

Nota:  $\bar{x}$ : promedio muestral, S: desviación estándar muestral, Superíndice: valores con diferentes letras son significativamente diferentes, CV: coeficiente de variabilidad, Dunnett: prueba para realizar comparaciones planeadas comparar cada grupo con un grupo control, PE0%: almidón nativo peruanita, PE1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% peruanita, PE3%: almidón modificado con AOS al 3% peruanita, PU0%: almidón nativo putis, PU1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% putis, PU3%: almidón modificado con AOS al 3% putis.

Resultados mayores fue reportado por Peña (2017) de 0.55 a 0.57 de almidones de papas nativas. Por otro lado, Velásquez (2019) reporto actividad de agua de almidones de mashua, olluco y oca nativo y modificado con AOS al 3% de 0.27 a 0.44 y 0.35 a 0.39 respectivamente. Como se puede observar en los resultados comparando la actividad de agua de los almidones nativos con los modificados con AOS se puede notar que hay una tendencia de disminución de la actividad de agua, podemos afirmar que los almidones de papa modificados poseen menos agua libre para la proliferación de microorganismos con respecto a los almidones nativos, asegurando la estabilidad microbiológica de los almidones. Según Pires y Pena 2017 cuando  $A_w < 0.6$  a este rango de actividad de agua el almidón será menos susceptible a reacciones de deterioro químico y enzimático durante el almacenamiento.

### 2.9.5. Tamaño de partícula de almidón nativo y modificado

Las mediciones del tamaño de partícula del almidón de papa nativo y modificado con AOS a diferentes concentraciones se muestran en la Tabla 13, se puede observar que no hay diferencia significativa (valor  $p > 0.05$ -Anexo 5), los valores del tamaño de partícula oscilaron de 30.06 a 33.90  $\mu\text{m}$  el almidón con valores de tamaño de partícula más alto fue PE3% y el de menor tamaño de partícula PE1.5%. La variable bloque no tuvo efecto significativo para el tamaño de partícula (valor  $p > 0.05$ , Anexo4).

**Tabla 13**

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

	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV(%)	Dunnett
PE0%	31.58	$\pm$	0.110 <sup>ab</sup>	0.347	A
PE1.5%	30.06	$\pm$	0.134 <sup>c</sup>	0.446	-
PE3%	33.90	$\pm$	0.071 <sup>d</sup>	0.209	-
PU0%	31.74	$\pm$	0.152 <sup>b</sup>	0.478	B
PU1.5%	33.08	$\pm$	0.045 <sup>e</sup>	0.135	-
PU3%	31.54	$\pm$	0.219 <sup>a</sup>	0.695	B

Nota:  $\bar{x}$ : promedio muestral, S: desviación estándar muestral, Superíndice: valores con diferentes letras son significativamente diferentes, CV: coeficiente de variabilidad, Dunnett: prueba para realizar comparaciones planeadas comparar cada grupo con un grupo control, PE0%: almidón nativo peruanita, PE1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% peruanita, PE3%: almidón modificado con AOS al 3% peruanita, PU0%: almidón nativo putis, PU1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% putis, PU3%: almidón modificado con AOS al 3% putis.

Remanan y Zhu (2023) reportaron valores similares del tamaño de partícula de almidones de quinoa, maíz y papa de 0.5-3  $\mu\text{m}$ , 5-20  $\mu\text{m}$  y 15-75  $\mu\text{m}$ , los resultados obtenidos en este trabajo de investigación están dentro del rango reportado, podemos observar que la modificación con AOS tuvo un efecto de aumento del tamaño de partícula, con esto podemos decir que la modificación con AOS no es recomendable para disminuir el tamaño de partícula. Por otro lado, Álzate et al., (2015) reportaron datos menores del tamaño de partícula de almidón de papa modificado por ultrasonificación de 78 a 635 nm, a diferencia de la modificación con AOS la modificación física por ultrasonificación si tiene efecto en la reducción del tamaño de partícula. El tamaño de partícula de los almidones últimamente ha llamado la atención por su importancia, hay almidones como el de amaranto y arroz con un tamaño de partícula bastante pequeños de 1 a 5 micras, por sus propiedades interesantes que presenta como poder de hinchamiento alto, estabilidad al

congelamiento, solubilidad en agua fría, capacidad de absorción de agua y viscosidad mayores (Paredes-López et al., 1989).

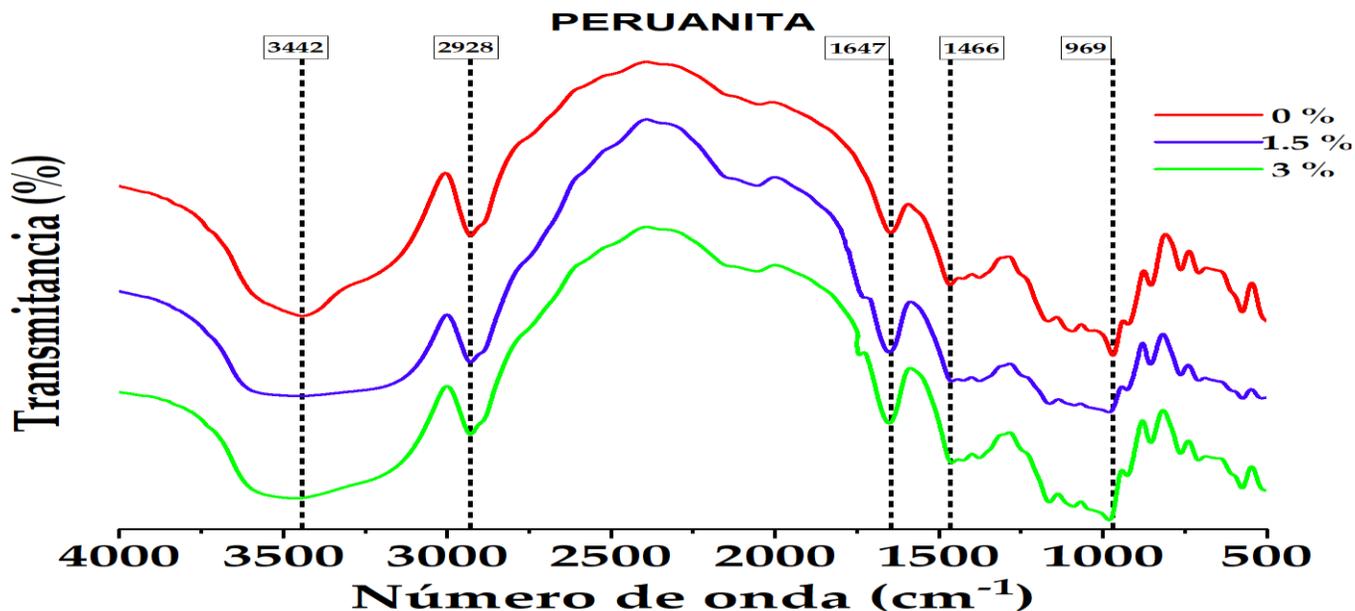
## 2.10. Propiedades químicas

### 2.10.1. Grupos funcionales de almidón nativo y modificado

Los grupos funcionales de los almidones de papa nativos y modificados con AOS se muestran en la Figura 8. Se logró observar picos desde 3449 hasta 969  $\text{cm}^{-1}$ . El pico 3000-3700  $\text{cm}^{-1}$  y 1641.57-1650  $\text{cm}^{-1}$  corresponden al grupo hidroxilo OH presentes en las unidades de glucosa que conforman las cadenas de amilosa y amilopectina dado por la vibración de estiramiento y flexión (Asghari et al., 2017). El pico 2928  $\text{cm}^{-1}$  denota el estiramiento C-H de la unidad del anhidro-glucosa de la molécula del granulo de almidón (Shah et al., 2017). El pico de 930 a 1155  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a la frecuencia de estiramiento de los enlaces C-OH (Chi et al., 2008). El pico 1651  $\text{cm}^{-1}$  pertenece al agua libre enlazada al granulo del almidón (Hui et al., 2009). Los almidones modificados con AOS mostraron menor transmitancia que los almidones nativos, esto se debe a la alteración del orden de la estructura de doble hélice por los grupos AOS (Capron et al., 2007).

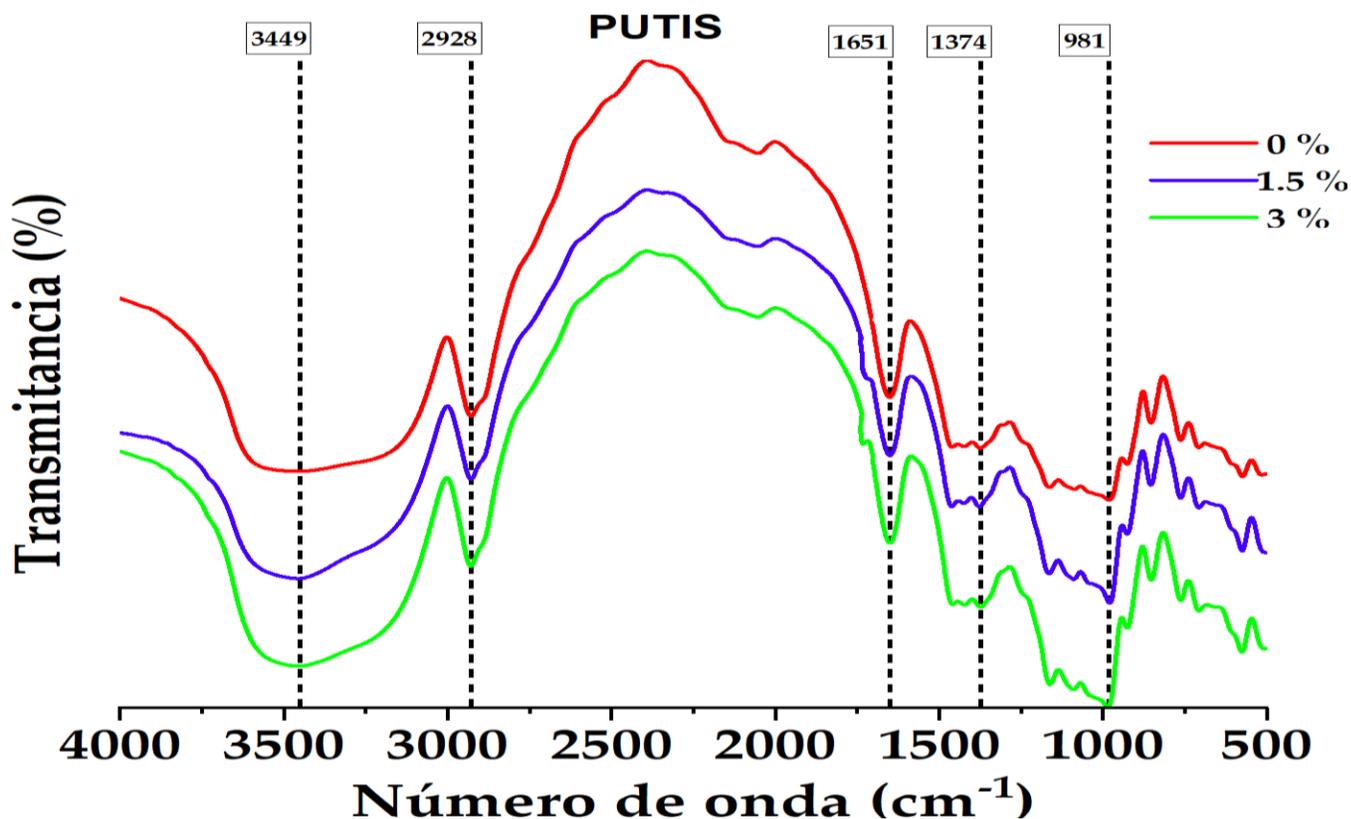
#### Figura 8

*Espectro IR de almidón nativo y modificado variedad peruanita*



**Figura 9**

*Espectro IR de almidón nativo y modificado variedad putis*



Velásquez (2019) reportó la aparición de un nuevo pico para almidones de oca modificados con AOS en la longitud de onda de  $1724\text{ cm}^{-1}$  que refiere a la formación de éster de grupos carbonilo. En la presente investigación también se pudo apreciar la aparición de un nuevo pico de intensidad baja para la variedad peruanita en la longitud de onda de  $1750\text{ cm}^{-1}$  y para la variedad putis en la longitud de onda de  $1740\text{ cm}^{-1}$  lo que confirma la adicción del grupo AOS. Por otro lado, Martínez (2019) también reportó la presencia de un nuevo pico para almidones modificados por acetilación al 5, 10 y 15%, en la longitud de onda de  $1727.56\text{ cm}^{-1}$ . además de ello Chi et al, (2008) al informaron que la aparición de estos nuevos picos confirmaría la presencia de grupos acetilos en los almidones modificados.

### **2.10.2. pH del almidón nativo y modificado**

Las mediciones del pH del almidón de papa nativo y modificado con AOS a diferentes concentraciones se muestran en la Tabla 14, se puede observar que hay diferencia significativa (valor  $p < 0.05$ -Anexo 6), los valores del pH oscilaron de 4.93 hasta 6.93 el almidón con mayor pH

fue PE3% y el de menor pH fue PU0%. La variable bloque tuvo efecto significativo para el pH (valor  $p < 0.05$ , Anexo 6).

**Tabla 14**

*pH*

	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV(%)	Dunnett
PE 0%	5.76	$\pm$	0.076 <sup>a</sup>	1.314	A
PE 1.5%	6.55	$\pm$	0.025 <sup>b</sup>	0.384	-
PE 3%	6.93	$\pm$	0.123 <sup>c</sup>	1.773	-
PU 0%	4.93	$\pm$	0.055 <sup>d</sup>	1.118	B
PU 1.5%	6.32	$\pm$	0.032 <sup>e</sup>	0.509	-
PU 3%	6.37	$\pm$	0.045 <sup>e</sup>	0.708	-

Nota:  $\bar{x}$ : promedio muestral, S: desviación estándar muestral, Superíndice: valores con diferentes letras son significativamente diferentes, CV: coeficiente de variabilidad, Dunnett: prueba para realizar comparaciones planeadas comparar cada grupo con un grupo control, PE0%: almidón nativo peruanita, PE1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% peruanita, PE3%: almidón modificado con AOS al 3% peruanita, PU0%: almidón nativo putis, PU1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% putis, PU3%: almidón modificado con AOS al 3% putis.

El valor del pH de los almidones nativos tanto de la variedad peruanita como la de putis están por debajo a lo reportado por Palomino (2018) que reportó valores de pH de almidones de papa nativa que oscilan de 6.34 hasta 6.39. Por otro lado, Aristizabal y Sánchez (2007) afirman que el pH de un almidón nativo debe estar entre 6 a 6.5; los almidones con pH cercanos a 7 (neutro) son más óptimos para la industria alimentaria ya que no alterará un producto o creará reacciones no deseadas. Según Badui (2006), los valores de pH mayores a 6.5 tienden a reducir la temperatura de gelatinización y acelerar el proceso de cocción, los valores del pH obtenidos de almidones nativos en el presente trabajo de investigación están por debajo del rango reportado por otros autores y los modificados con AOS están en ese rango. El bajo pH de los almidones nativos se atribuye a la extracción del almidón, al dejar sedimentar por tiempos prolongados el almidón llega a fermentarse; en donde el crecimiento de hongos disipa amoníaco y acidifica el almidón variando el valor del pH; los almidones modificados con AOS mostraron una tendencia de aumento pH cercanos a 7. La modificación del almidón con AOS otorga una mayor estabilidad a cambios de pH y temperatura (Zhang et al., 2005).

### 2.10.3. Amilosa y amilopectina del almidón nativo y modificado

Los resultados de la cantidad de amilosa y amilopectina se muestran en la Tabla 15 el contenido de amilopectina se determinó por diferencia, se puede observar que hay diferencia significativa (valor  $p < 0.05$ -Anexo 7), la cantidad de amilosa osciló entre 17.51-27.64%, y el contenido de amilopectina de 72.36 a 82.49%. El almidón que mostró mayor cantidad de amilosa fue PE0% con 27.64 % y el de menor contenido fue PU3% con 17.51%, el almidón que presentó mayor contenido de amilopectina fue PU3% con 82.49% y el de menor contenido fue PE0% 72.36%. La variable bloque tuvo efecto significativo para el contenido de amilosa (valor  $p < 0.05$ , Anexo 7).

**Tabla 15**

*Contenido de amilosa y amilopectina (%)*

Contenido de amilosa	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV(%)	Dunnett	Amilopectina
PE 0%	27.64	$\pm$	0.002 <sup>a</sup>	0.588	A	72.36
PE 1.5%	25.67	$\pm$	0.001 <sup>b</sup>	0.317	-	74.33
PE 3%	23.84	$\pm$	0.002 <sup>c</sup>	0.682	-	76.16
PU 0%	25.58	$\pm$	0.001 <sup>b</sup>	0.318	B	74.42
PU 1.5%	24.45	$\pm$	0.001 <sup>d</sup>	0.332	-	75.55
PU 3%	17.50	$\pm$	0.001 <sup>e</sup>	0.464	-	82.49

Nota:  $\bar{x}$ : promedio muestral, S: desviación estándar muestral, Superíndice: valores con diferentes letras son significativamente diferentes, CV: coeficiente de variabilidad, Dunnett: prueba para realizar comparaciones planeadas comparar cada grupo con un grupo control, PE0%: almidón nativo peruanita, PE1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% peruanita, PE3%: almidón modificado con AOS al 3% peruanita, PU0%: almidón nativo putis, PU1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% putis, PU3%: almidón modificado con AOS al 3% putis.

Velásquez (2019) reportó datos de la cantidad de amilosa de 3 tipos de tubérculo Mashua, Oca amarilla y Olluco amarillo 26.54, 28.24 y 24.38% respectivamente, y de la misma forma estos almidones modificados con AOS al 3% oscilaron entre 21,13% a 26,13%, resultados similares a los obtenidos en esta investigación, se nota la disminución de amilosa cuando se realiza la modificación con AOS. Así mismo, Diaz (2015) reportó datos del contenido de amilosa de 4 variedades de papa nativa Ccompis, Huamantanga, putis y Qeccorani con 32.68%, 40.22%, 38.2% y 40.26% respectivamente, mostrando valores mucho mayores a los obtenidos en esta investigación; las diferencias se deben a condiciones climatológicas de producción, tipo de suelo, altitud donde se produce, índice de madurez de la papa, metodología usada para la determinación de amilosa y variedad (Sodhi y Singh, 2003). También Gremsqui et al. (2015) reportó datos de

amilosa y amilopectina de 23 genotipos de almidón de papa, el contenido de amilosa osciló entre 18.20 a 37.55%. los resultados obtenidos en la investigación están dentro de este rango, por otro lado, Márquez (2022) reportó 19.5% de amilosa y 75.5% de amilopectina estos datos están dentro del rango reportado en esta investigación, La modificación con AOS disminuyó la cantidad de amilosa y aumentó la amilopectina. La amilosa es insoluble en agua y puede formar micelas hidratadas por su capacidad de enlazarse con moléculas de amilosa cercanas por puentes de hidrógeno y pueden generar una estructura helicoidal (Hernández Medina et al., 2008). La modificación del almidón con AOS es bastante efectivo para reducir la cantidad de amilosa del almidón nativo de papa, esto reduce la hidrofobicidad del almidón de papa y aumenta su solubilidad.

#### 2.10.4. Grado de sustitución de almidón nativo y modificado

En la Tabla 16 se muestran los resultados del grado de sustitución del almidón nativo y modificado con AOS, se puede observar que hay diferencia significativa (valor  $p < 0.05$ -Anexo 8), los datos variaron entre 0.0111 a 0.0167, presentando mayor grado de sustitución el almidón PE3% y el que presentó menor grado de sustitución fue PU1.5%. La variable bloque tuvo efecto significativo para el grado de sustitución (valor  $p < 0.05$ , Anexo 8).

**Tabla 16**

*Grado de sustitución*

	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV(%)	Dunnett
PE1.5%	0.0112	$\pm$	0.003 <sup>a</sup>	4.284	-
PE3%	0.0167	$\pm$	0.005 <sup>b</sup>	3.648	-
PU1.5%	0.0111	$\pm$	0.006 <sup>a</sup>	3.772	-
PU3%	0.0146	$\pm$	0.004 <sup>c</sup>	3.329	-

Nota:  $\bar{x}$ : promedio muestral, S: desviación estándar muestral, Superíndice: valores con diferentes letras son significativamente diferentes, CV: coeficiente de variabilidad, Dunnett: prueba para realizar comparaciones planeadas comparar cada grupo con un grupo control, PE1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% peruanita, PE3%: almidón modificado con AOS al 3% peruanita, PU1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% putis, PU3%: almidón modificado con AOS al 3% putis.

Resultados similares fueron reportados por, Remanan y Zhu (2023) de almidón de papa modificado con AOS a 5 concentraciones de AOS (0.6%,1.2%,1.8%,2.4%,3%) de 0.0026, 0.0043, 0.0079, 0.0121, 0.0161 respectivamente. Los resultados obtenidos en la presente investigación son similares, mientras más concentración de reactivo AOS el valor del grado de sustitución aumenta.

Así mismo Velásquez (2019) presentó valores similares del grado de sustitución de almidón modificado con AOS al 3% de oca amarilla, oca rosada y olluco amarillo 0.0135, 0.0162 y 0.015 respectivamente, un mayor grado de sustitución nos indica que estos tuvieron mayor capacidad de esterificación de los grupos AOS durante el proceso de modificación, también se puede observar que hay una diferencia entre el modificado con AOS al 3% y el de 1.5% al aumentar el porcentaje de AOS tiende a aumentar el grado de sustitución. De la misma manera Bello Flores et al. (2014) reportaron valores similares de grado de sustitución de almidones de plátano esterificados con AOS al 3% cercanos a 0.014. por otro lado, Martínez et al. (2019) reportaron valores del grado de sustitución de almidón de papa variedad única modificado por acetilación con anhídrido acético al 5, 10 y 15% obteniendo 0.02, 0.03 y 0.05 de grado de sustitución respectivamente. Valores mucho mayores a los obtenidos en la investigación, estas diferencias se deben al tipo de reactivo usado además la concentración del reactivo es mayor.

Vargas et al. (2016) Menciona que los almidones modificados químicamente se clasifican según su grado de sustitución (GS) bajo y alto. Los almidones modificados químicamente con bajo GS (<0.1) se usan mayormente en la industria alimentaria, ya que estos mejoran la textura, consistencia y estabilidad mientras que los almidones con alto GS (>1,0) son utilizados para otros fines no alimentarios.

La FDA (food and drug administration) controla el uso de la concentración del reactivo AOS en el proceso de modificación de almidón nativo, la FDA menciona que el porcentaje del reactivo AOS no debe de ser mayor igual al 3 por ciento (p/p), además de un máximo de grado de sustitución de 0.020 (Song et al., 2006).

## **2.11. Propiedades tecnofuncionales**

### **2.11.1. Temperatura de gelatinización del almidón nativo y modificado**

Los resultados de la temperatura de gelatinización de almidón de papa nativo y modificado con AOS se muestran en la Tabla 17, se puede observar que hay diferencia significativa (valor  $p < 0.05$ - Anexo 9), La temperatura de gelatinización osciló de 58.67 a 61.67 °C, el almidón que mostró mayor temperatura de gelatinización fue PE0% y el de menor temperatura de gelatinización fue la variedad PU3% con 58.67 °C. La variable bloque tuvo efecto significativo para la temperatura de gelatinización (valor  $p < 0.05$ , Anexo 9).

**Tabla 17***Temperatura de gelatinización (°C)*

	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV (%)	Dunnett
PE 0%	61.67	$\pm$	0.058 <sup>a</sup>	0.094	A
PE 1.5%	61.13	$\pm$	0.208 <sup>b</sup>	0.341	-
PE 3%	60.43	$\pm$	0.153 <sup>c</sup>	0.253	-
PU 0%	59.63	$\pm$	0.153 <sup>d</sup>	0.256	B
PU 1.5%	59.43	$\pm$	0.058 <sup>d</sup>	0.097	B
PU 3%	58.67	$\pm$	0.115 <sup>e</sup>	0.197	-

Nota:  $\bar{x}$ : promedio muestral, S: desviación estándar muestral, Superíndice: valores con diferentes letras son significativamente diferentes, CV: coeficiente de variabilidad, Dunnett: prueba para realizar comparaciones planeadas comparar cada grupo con un grupo control, PE0%: almidón nativo peruanita, PE1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% peruanita, PE3%: almidón modificado con AOS al 3% peruanita, PU0%: almidón nativo putis, PU1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% putis, PU3%: almidón modificado con AOS al 3% putis.

Pereyra (2018) reportó valores de temperatura de gelatinización de almidón de arroz nativo variedad Gurí  $67.4 \pm 0.4$  y modificado con AOS al 3% fue  $65.4 \pm 0.6$  como se puede observar la modificación de almidón con AOS redujo la temperatura de gelatinización, mismo patrón mostrado en la presente investigación. Por otro lado Martínez (2019) reportó resultados mayores para almidón nativo de papa de la variedad única de  $65.79 \pm 0.25$  °C y para los modificados de  $62.47$  a  $64.49$  °C mostró una disminución de la temperatura de gelatinización, los resultados obtenidos en este trabajo de investigación para almidón de papa son menores esta diferencia se debe a la variedad de papa, metodología utilizada para la determinación de la temperatura de gelatinización, podemos observar que con la modificación con AOS disminuyó la temperatura de gelatinización, así mismo Mbougoung et al. (2018) afirman que la temperatura de gelatinización del almidón modificado químicamente con respecto al almidón nativo presenta una disminución, estas es una de las ventajas que se consigue con la modificación química del almidón, esto permite usar estos almidones en procesos donde debe gelificarse a temperaturas bajas. También Ovando Martínez et al. (2017) demostró que el aumento en las viscosidades y disminución de las temperaturas de gelatinización de los almidones es debido a la introducción de esteres de AOS en los almidones modificados, estos grupos afectan la interacción entre cadenas del almidón, esto ocasiona la alteración en el enlazamiento de los hidrógenos por lo tanto el resultado es la disminución de la temperatura de gelatinización y aumento de poder de hinchamiento de los gránulos de almidón. De la misma manera Bello et al., (2015) afirma que la pérdida del orden de

doble hélice en los almidones modificados con AOS está relacionado a la reducción de la temperatura de gelatinización, entalpia de gelatinización y al incremento de las propiedades de comportamiento de las pastas de almidones modificados.

### 2.11.2. Sinéresis del almidón nativo y modificado

Los resultados de la sinéresis de almidón de papa nativo y modificado con AOS se muestran en la Tabla 18, se puede observar que hay diferencia significativa para 24, 48 y 72 horas (valor  $p < 0.05$ - Anexo 10). La sinéresis osciló entre 25.76-42.63. La variable bloque tuvo efecto significativo para la sinéresis (valor  $p < 0.05$ , Anexo 10).

**Tabla 18**

*Sinéresis (%)*

Tiempo(h)		$\bar{x}$	$\pm$	S	CV(%)	Dunnett
24h	PE 0%	34.08	$\pm$	0.440 <sup>a</sup>	1.291	A
	PE 1.5%	30.45	$\pm$	0.508 <sup>b</sup>	1.670	-
	PE 3%	25.76	$\pm$	0.510 <sup>c</sup>	1.978	-
	PU 0%	36.08	$\pm$	0.151 <sup>d</sup>	0.420	B
	PU 1.5%	33.41	$\pm$	0.477 <sup>a</sup>	1.426	-
	PU 3%	28.34	$\pm$	0.304 <sup>e</sup>	1.074	-
48h	PE 0%	36.68	$\pm$	0.284 <sup>a</sup>	0.776	A
	PE 1.5%	32.78	$\pm$	0.299 <sup>b</sup>	0.911	-
	PE 3%	31.10	$\pm$	0.666 <sup>c</sup>	2.143	-
	PU 0%	38.07	$\pm$	0.742 <sup>d</sup>	1.950	B
	PU 1.5%	36.02	$\pm$	0.681 <sup>a</sup>	1.891	-
	PU 3%	34.16	$\pm$	0.167 <sup>e</sup>	0.490	-
72h	PE 0%	40.69	$\pm$	0.555 <sup>a</sup>	1.364	A
	PE 1.5%	36.57	$\pm$	0.360 <sup>b</sup>	0.988	-
	PE 3%	34.87	$\pm$	0.144 <sup>c</sup>	0.414	-
	PU 0%	42.63	$\pm$	0.327 <sup>d</sup>	0.766	B
	PU 1.5%	38.56	$\pm$	0.370 <sup>e</sup>	0.960	-
	PU 3%	37.68	$\pm$	0.492 <sup>f</sup>	1.306	-

Nota:  $\bar{x}$ : promedio muestral, S: desviación estándar muestral, Superíndice: valores con diferentes letras son significativamente diferentes, CV: coeficiente de variabilidad, Dunnett: prueba para realizar comparaciones planeadas comparar cada grupo con un grupo control, PE0%: almidón nativo peruanita, PE1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% peruanita, PE3%: almidón modificado con AOS al 3% peruanita, PU0%: almidón nativo putis, PU1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% putis, PU3%: almidón modificado con AOS al 3% putis.

Vargas et al., (2016) reportó datos de sinéresis de almidón de papa nativo variedad única de 5 hasta 52% evaluado en un periodo de 10 días, así mismo para almidones modificados químicamente por

acetilación al 10% la sinéresis osciló de 2 a 36% de sinéresis y para 15% de acetilación 1.5%-31% en el transcurso de 10 días. Como se puede apreciar con la modificación se logró la disminución de la sinéresis a comparación del almidón nativo. Los resultados obtenidos en la presente investigación fueron evaluados en un lapso de 3 días, estos resultados están dentro del rango y también tienen la misma tendencia de disminuir la sinéresis con la modificación con AOS a comparación de los almidones nativos. Por otro lado, Martínez et al. (2015) reportó valores similares para almidón nativo de papa de la variedad Solischa evaluados en el día 3 (25 %) y día 4 (35 %) a una temperatura de refrigeración de 4 °C. Asimismo Amani et al. (2002) reportó valores de sinéresis similares de (20 - 32 %) para geles de almidones modificados químicamente, almacenados en congelación.

La relación amilosa/amilopectina confiere características definitivas en las propiedades funcionales de los almidones. La amilosa favorece la retrogradación de los almidones durante el proceso de congelamiento y descongelamiento ocasionando el indeseable fenómeno de sinéresis, la amilopectina presenta pastas más espesas que no se retrogradan fácilmente al enfriarse (Hoover, 2002). Todo esto se puede confirmar en la presente investigación que con la modificación química con AOS de almidones de papa se redujo la cantidad de amilosa por lo tanto se disminuyó la sinéresis. La amilosa se retrograda mucho más rápido que la amilopectina, ocasionando que en los primeros ciclos haya mayor liberación de agua (Thoufeek Ahamed et al., 1996). Las modificaciones químicas del almidón como la esterificación, modificación acida, blanqueado y la oxidación comúnmente se realiza para mejorar las características de gelatinización, disminuir significativamente la sinéresis (retrogradación) al aumentar las propiedades hidrofílicas (Hebeish et al., 1989).

### **2.11.3. CAA, PH y S del almidón nativo y modificado**

Los resultados de CAA, PH Y S se muestran en la Tabla 19. Se puede observar que hay diferencia significativa para la capacidad de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad a las 5 temperaturas a la cual se evaluó (valor  $p < 0.05$ -Anexo 11) los valores de la capacidad de absorción de agua oscilaron entre 3.05 a 47.76, el poder de hinchamiento de 3.74 a 88.17 y la solubilidad de agua de 18.56 a 45.83. El almidón que mostró mayor capacidad de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad fue PE3% a 90 °C y el que presentó menor capacidad de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad fue PU0% a 50 °C. Se determinó las 3 propiedades a 5

diferentes temperaturas para ver el comportamiento, ya que muchos procesos utilizan diferentes temperaturas.

La variable bloque tuvo efecto significativo para la capacidad de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad en agua (valor  $p < 0.05$ , Anexo 11).

**Tabla 19**

*Capacidad de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad*

T°C	CDAA(g/g)					PH(g/g)					Sol(%)				
	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV(%)	D	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV(%)	D	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV(%)	D
50	PE0%	3.16	$\pm$ 0.10 <sup>bc</sup>	3.2	A	3.93	$\pm$ 0.14 <sup>bc</sup>	3.45	A	19.74	$\pm$ 0.57 <sup>c</sup>	2.87	A		
	PE1.5%	3.29	$\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	4.26	A	4.14	$\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	4.46	A	20.67	$\pm$ 0.65 <sup>b</sup>	3.17	A		
	PE3%	3.71	$\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	4.04	-	4.77	$\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	4.13	-	22.26	$\pm$ 0.19 <sup>a</sup>	0.86	-		
	PU0%	3.05	$\pm$ 0.05 <sup>c</sup>	1.74	B	3.74	$\pm$ 0.05 <sup>c</sup>	1.39	B	18.56	$\pm$ 0.50 <sup>d</sup>	2.68	B		
	PU1.5%	3.2	$\pm$ 0.06 <sup>bc</sup>	1.86	B	3.97	$\pm$ 0.08 <sup>bc</sup>	2.03	-	19.19	$\pm$ 0.30 <sup>cd</sup>	1.54	B		
	PU3%	3.27	$\pm$ 0.12 <sup>b</sup>	3.62	-	4.16	$\pm$ 0.13 <sup>b</sup>	3.2	-	21.38	$\pm$ 0.33 <sup>b</sup>	1.52	-		
60	PE0%	13.9	$\pm$ 0.65 <sup>d</sup>	4.68	A	18.5	$\pm$ 0.89 <sup>c</sup>	4.82	A	24.88	$\pm$ 0.18 <sup>c</sup>	0.73	A		
	PE1.5%	16	$\pm$ 0.52 <sup>b</sup>	3.27	-	21.52	$\pm$ 0.63 <sup>b</sup>	2.94	-	25.65	$\pm$ 0.24 <sup>b</sup>	0.94	-		
	PE3%	18.07	$\pm$ 0.52 <sup>a</sup>	2.88	-	24.63	$\pm$ 0.63 <sup>a</sup>	2.54	-	26.64	$\pm$ 0.25 <sup>a</sup>	0.94	-		
	PU0%	13.36	$\pm$ 0.61 <sup>d</sup>	4.56	B	17.32	$\pm$ 0.72 <sup>d</sup>	4.14	B	22.87	$\pm$ 0.63 <sup>e</sup>	2.73	B		
	PU1.5%	14.91	$\pm$ 0.27 <sup>c</sup>	1.82	-	19.59	$\pm$ 0.32 <sup>c</sup>	1.64	-	23.92	$\pm$ 0.29 <sup>d</sup>	1.22	-		
	PU3%	16.6	$\pm$ 0.27 <sup>b</sup>	1.65	-	22.13	$\pm$ 0.32 <sup>b</sup>	1.47	-	25.01	$\pm$ 0.15 <sup>c</sup>	0.58	-		
70	PE0%	16.5	$\pm$ 0.81 <sup>b</sup>	4.89	A	22.38	$\pm$ 1.01 <sup>c</sup>	4.52	A	26.29	$\pm$ 0.29 <sup>b</sup>	1.11	A		
	PE1.5%	17.38	$\pm$ 0.34 <sup>ab</sup>	1.93	A	23.73	$\pm$ 0.41 <sup>b</sup>	1.75	A	26.78	$\pm$ 0.28 <sup>a</sup>	1.04	A		
	PE3%	18.2	$\pm$ 0.43 <sup>a</sup>	2.37	-	24.98	$\pm$ 0.68 <sup>a</sup>	2.74	-	27.15	$\pm$ 0.26 <sup>a</sup>	0.97	-		
	PU0%	13.46	$\pm$ 0.45 <sup>d</sup>	3.31	B	17.99	$\pm$ 0.56 <sup>e</sup>	3.09	B	25.21	$\pm$ 0.26 <sup>c</sup>	1.03	B		
	PU1.5%	14.54	$\pm$ 0.15 <sup>c</sup>	1.02	B	19.63	$\pm$ 0.19 <sup>d</sup>	0.97	-	25.96	$\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.16	-		
	PU3%	16.97	$\pm$ 0.67 <sup>b</sup>	3.96	-	23.23	$\pm$ 0.93 <sup>bc</sup>	4.01	-	26.96	$\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	0.27	-		
80	PE0%	28.07	$\pm$ 0.65 <sup>c</sup>	2.31	A	39.76	$\pm$ 1.16 <sup>c</sup>	2.93	A	29.38	$\pm$ 0.60 <sup>c</sup>	2.05	A		
	PE1.5%	29.08	$\pm$ 0.50 <sup>b</sup>	1.73	A	42.55	$\pm$ 0.71 <sup>b</sup>	1.67	-	31.64	$\pm$ 0.38 <sup>b</sup>	1.19	-		
	PE3%	30.37	$\pm$ 0.44 <sup>a</sup>	1.45	-	45.5	$\pm$ 0.47 <sup>a</sup>	1.04	-	33.26	$\pm$ 0.35 <sup>a</sup>	1.07	-		
	PU0%	24.32	$\pm$ 0.49 <sup>e</sup>	2	B	33.97	$\pm$ 0.47 <sup>e</sup>	1.38	B	28.42	$\pm$ 0.56 <sup>d</sup>	1.98	B		
	PU1.5%	25.21	$\pm$ 0.36 <sup>d</sup>	1.44	B	35.66	$\pm$ 0.77 <sup>d</sup>	2.16	-	29.29	$\pm$ 0.51 <sup>cd</sup>	1.72	B		
	PU3%	27.37	$\pm$ 0.34 <sup>c</sup>	1.25	-	40.56	$\pm$ 0.40 <sup>c</sup>	0.98	-	32.53	$\pm$ 0.50 <sup>a</sup>	1.54	-		

90	PE0%	36.16 ± 1.22 <sup>d</sup>	3.38	A	59.13 ± 2.28 <sup>d</sup>	3.85	A	38.85 ± 0.35 <sup>c</sup>	0.89	A
	PE1.5%	41.22 ± 1.32 <sup>b</sup>	3.19	-	72.02 ± 2.37 <sup>b</sup>	3.29	-	42.76 ± 0.42 <sup>b</sup>	0.98	-
	PE3%	47.76 ± 0.50 <sup>a</sup>	1.04	-	88.17 ± 0.79 <sup>a</sup>	0.9	-	45.83 ± 0.65 <sup>a</sup>	1.43	-
	PU0%	35.06 ± 0.22 <sup>d</sup>	0.63	B	55.55 ± 0.21 <sup>e</sup>	0.37	B	36.89 ± 0.57 <sup>d</sup>	1.53	B
	PU1.5%	38.26 ± 0.60 <sup>c</sup>	1.57	-	62.79 ± 1.54 <sup>c</sup>	2.45	-	39.06 ± 0.55 <sup>c</sup>	1.41	-
	PU3%	41.31 ± 1.06 <sup>b</sup>	2.57	-	72.48 ± 1.84 <sup>b</sup>	2.53	-	43.01 ± 0.27 <sup>b</sup>	0.62	-

Nota:  $\bar{x}$ : promedio muestral, S: desviación estándar muestral, CAA: capacidad de absorción de agua, PH: poder de hinchamiento, Sol: solubilidad, Superíndice: valores con diferentes letras son significativamente diferentes, CV: coeficiente de variabilidad, D: prueba para realizar comparaciones planeadas comparar cada grupo con un grupo control, PE0%: almidón nativo peruanita, PE1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% peruanita, PE3%: almidón modificado con AOS al 3% peruanita, PU0%: almidón nativo putis, PU1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% putis, PU3%: almidón modificado con AOS al 3% putis.

Palomino (2018) reportó valores de capacidad de absorción de agua de almidón de papa de 4 variedades de papas nativas de 7.13 a 11.46 estos valores están dentro del rango obtenidos ya que el autor determinó solo a una temperatura 60 °C, se puede ver que mientras se aumenta la temperatura también sube la capacidad de absorción de agua del almidón nativo y modificado con AOS, con estos resultados podemos decir que con la modificación química con AOS se mejoró las propiedades funcionales ya que los mayores valores de capacidad de absorción de agua lo presentan los almidones modificados con AOS, debido a la tendencia hidrofílica del almidón modificado con AOS que se incrementó con la esterificación, esto permite una mayor retención de agua que ingresa a los gránulos de almidón modificado con AOS (Mbougoueng et al).

Velásquez (2019) reportó valores para solubilidad de almidón modificado de mashua con AOS al 3% de 4.73 a 9.12% estos resultados son más bajos a los obtenidos ya que estos resultados fueron analizados a una temperatura de 30 °C. Por otra parte, Diaz (2015) reportó valores de solubilidad en agua para 4 variedades de papa nativa Ccompis, Huamantanga, putis y Qeccorani de 2.03 a 2.85 valores mucho menores a los obtenidos. La solubilidad de los almidones es mayor a altas temperaturas y disminuye a bajas temperaturas ya que incrementa la humectabilidad y disolución (Pires y Pena, 2017). Como se puede observar en la tabla 20 la solubilidad aumenta con la temperatura a diferencia de los almidones nativos los modificados con AOS presentaron mayor porcentaje de solubilidad.

Bello (2014) reportó valores de poder de hinchamiento de almidón modificado con AOS al 3% de plátano de 26.34 a 32.3 g/g y para los nativos de 20.21 a 21.35g/g como se puede apreciar los almidones modificados presentan mayor poder de hinchamiento esto contrasta los resultados

obtenidos en esta investigación tienen el mismo comportamiento el poder de hinchamiento se incrementó a mayor temperatura y se obtuvo mayor poder de hinchamiento en los almidones modificados con AOS. Asimismo Bao et al. (2003) han reportado que los almidones de arroz, trigo y papa modificados con AOS producen un incremento en el poder de hinchamiento de los gránulos de almidón con respecto al almidón nativo, inclusive duplicando el poder de hinchamiento. Por otra parte, Shogren et al. (2000) mencionan que al reemplazar los grupos OH- por los grupos AOS de almidones de papa y maíz, se genera una ruptura que permite el ingreso de agua hacia el interior del gránulo de almidón, a través de canales generados por las fuerzas de repulsión que se da entre los grupos octenilo, esto favorece al poder de hinchamiento a bajas temperaturas.

Los grupos AOS insertados en los gránulos del almidón generan un reordenamiento en su estructura molecular del gránulo de almidón, esto genera una mayor difusión de agua hacia el interior de los gránulos de almidón, esto es provocado por las fuerzas de repulsión que confiere la inserción del grupo octenil, esto permite que los gránulos de almidón modificados con AOS tengan un mayor poder de hinchamiento, solubilidad y capacidad de absorción de agua a diferencia de los nativos (Shih y Daigle, 2003). El poder de hinchamiento se da cuando los gránulos de almidón entran en contacto con el agua, dando como resultado el aumento de volumen, con el incremento de la temperatura, se incrementa el poder de hinchamiento por lo tanto se da una pérdida de cristalinidad (Sánchez, 2007).

## **2.12. Potencial zeta de almidón nativo y modificado**

Las mediciones del potencial zeta del almidón de papa nativo y modificado con AOS a diferentes concentraciones se muestran en la Tabla 20, se puede observar que hay diferencia significativa (valor  $p < 0.05$ -Anexo 12) los valores del potencial zeta oscilaron de -33.01 a -9.96 mV, el almidón con valores de potencial zeta más alto fue PE0% y el de menor potencial zeta fue PE3%. La variable bloque no tuvo efecto significativo para el potencial zeta (valor  $p > 0.05$ , Anexo 12).

**Tabla 20***Potencial zeta (mV)*

	$\bar{x}$	$\pm$	S	CV (%)	Dunnett
PE 0%	-9.96	$\pm$	3.444 <sup>a</sup>	-34.568	A
PE 1.5%	-20.36	$\pm$	2.186 <sup>bc</sup>	-10.736	-
PE 3%	-33.01	$\pm$	8.337 <sup>d</sup>	-25.252	-
PU 0%	-11.13	$\pm$	3.466 <sup>ab</sup>	-31.147	B
PU 1.5%	-22.99	$\pm$	2.395 <sup>c</sup>	-10.418	-
PU 3%	-26.63	$\pm$	8.275 <sup>cd</sup>	-31.079	-

Nota:  $\bar{x}$ : promedio muestral, S: desviación estándar muestral, Superíndice: valores con diferentes letras son significativamente diferentes, CV: coeficiente de variabilidad, Dunnett: prueba para realizar comparaciones planeadas comparar cada grupo con un grupo control, PE0%: almidón nativo peruanita, PE1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% peruanita, PE3%: almidón modificado con AOS al 3% peruanita, PU0%: almidón nativo putis, PU1.5%: almidón modificado con AOS 1.5% putis, PU3%: almidón modificado con AOS al 3% putis.

Remanan y Zhu (2023) reportaron valores del potencial zeta de almidón modificado de papa a 6 concentraciones de AOS (0%,0.6%,1.2%,1.8%, 2.4% y 3%) -12.91, -14.21, -15.25, -17.28, -19.42, -21.56 mV respectivamente podemos observar que mientras más % de AOS se usa, el valor del potencial zeta tiende a disminuir el mismo comportamiento que tomo los valores del potencial zeta en la presente investigación dieron valores de potencial zeta más bajos con AOS al 3%. Por otro lado, Fuentes et al, (2023) Reportó valores de potencial zeta de almidones nativos y modificados de yuca con AOS de -3.35 a -5.25 y -9.65 a -22.69 mV respectivamente; como se puede observar con la modificación se tuvo una tendencia a disminuir el potencial zeta, mismo comportamiento obtenido en la presente investigación, el potencial zeta determina la estabilidad de estos almidones mientras más bajo sea el valor del potencial zeta es más estable por ello podemos ver que a diferencia del almidón nativo los modificados con AOS presentaron menor potencial zeta esto los hace más estables. Según Martínez et al., (2020) las diferencias se dan por que el potencial zeta esta influenciado por factores como el pH y la conductividad ambos tienen un papel fundamental en la magnitud y el signo del potencial zeta.

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES

Se logró evaluar las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de los almidones modificados por esterificación con AOS al 0, 1.5 y 3%, de 2 variedades de papa peruanita y putis. Se determinó las propiedades físicas, para el color el que presentó mejores resultados fue la variedad peruanita de igual manera para el índice de blancura se encontró mejores resultados para la variedad peruanita modificado con AOS al 3%, en cuanto a la humedad los almidones modificados presentaron menor contenido, y el que presentó menor actividad de agua fue el almidón de la variedad putis con AOS al 3%, en cuanto al tamaño de partícula la modificación con AOS tuvo efecto en incrementar el tamaño de partícula.

Se determinó las propiedades químicas de los almidones de papa nativo y modificado por esterificación, grupos funcionales FTIR se logró evidenciar la presencia del grupo hidroxilo OH en el pico  $3442\text{ cm}^{-1}$ , el pico  $1466\text{ cm}^{-1}$  corresponde al grupo metileno y el pico  $930-1155\text{ cm}^{-1}$  corresponde al grupo funcional carbonilo, el almidón que presentó pH cercano al neutro fue el modificado con AOS al 3% de la variedad peruanita, en cuanto al contenido de amilosa se logró reducir la cantidad de amilosa y aumentar la amilopectina; el almidón que presentó mayor grado de sustitución fue el modificado con AOS al 3% de la variedad peruanita.

Se determinó las propiedades tecnofuncionales de los almidones de papa nativo y modificados por esterificación, con la modificación con AOS se logró reducir la temperatura de gelatinización, la capacidad de absorción de agua se incrementó con la modificación con AOS con mayor intensidad al 3%, de la misma manera el poder de hinchamiento y la solubilidad se logró incrementar con la modificación con AOS, se logró reducir la sinéresis, el grado de sustitución se incrementó con el % de AOS utilizado en cuanto al potencial zeta se logró evidenciar la reducción de los valores del potencial zeta esto nos indica una mejor estabilidad.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Preparar emulsiones y evaluar su capacidad emulsificante del almidón nativo y modificado por esterificación con AOS.
- ✓ Modificar almidones nativos con otros métodos como el físico y enzimático y comparar los resultados obtenidos para poder ver que modificación tiene mejores efectos en las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales.
- ✓ Modificar almidones mezclando 2 métodos, ya que cada método de modificación confiere propiedades distintas al almidón con ello se podría lograr mejores propiedades de un almidón nativo.
- ✓ Determinar la viscosidad de los almidones nativos y modificados ya que muchos autores mencionan que con la modificación con AOS se logra incrementar esta propiedad de los almidones.
- ✓ Se recomienda utilizar los almidones modificados por esterificación con AOS como encapsulantes, muchos autores mencionan que este tiene buena eficiencia de encapsulación.
- ✓ Aplicar los almidones modificados en las industrias alimentarias de la localidad para así poder contrastar los resultados obtenidos en la presente investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ana Beatriz Picado, Milton Alvarez.(2015) Química I, introducción al estudio de la materia, pag 25.
- Arenas C, Pedraza D. 2017. Evaluación del proceso de modificación de almidón de papa mediante acetilación y oxidación, para su aplicación como excipiente en la industria farmacéutica a nivel laboratorio. [Tesis de grado]. Colombia: Programa de Ingeniería Química, Fundación Universidad De América.
- Arroyo Benites, E. (2014). Propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa para empaques de alimentos. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/1418>
- Asghari-Varzaneh, E.; Shahedi, M.; Shekarchizadeh, H. 2017. Iron microencapsulation in gum tragacanth using solvent evaporation method. *Int. J. Biol. Macromol.*, 103, 640–647.
- Badui, S. 2006. Química de los Alimentos. Pearson Education. México D.F. p. 29 -1 06.
- Bao, J., Xing., J., Phillips, D., y Corke, H. 2003 Physical Properties of Octenyl Succinic Anhydride Modified Rice, Wheat, and potato starched. *Journal of agricultural and food chemistry*. 51, 2283-2287.
- Barrios. (1989). Fundamentos de secado en productos agropecuarios. universidad de los andes Venezuela.
- Bello-Flores, CA; Nuñez-Santiago, MC; San Martín-Gonzalez, MF; BeMiller, JN; BelloPérez, LA. 2014. Preparation and characterization of octenylsuccinylated plantain starch. *International Journal of Biological Macromolecules* 70:334–339.
- Bello-Pérez, LA; Bello-Flores, CA; Nuñez-Santiago, MC; Coronel-Aguilera, CP; AlvarezRamirez, J. 2015. Effect of the degree of substitution of octenyl succinic anhydridebanana starch on emulsion stability. *Carbohydrate Polymer* 132:17–24.
- Biliaderis, C. G. (1998). Structures and phase transitions of starch polymers. *Poyosaccharide Association Structures in Foods*. W. RH. New York, Marcel Dekker: 57-168.
- Buléon, A., Colonna, P., Planchot, V., & Ball, S. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 23(2), 85-112. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(98\)00040-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-8130(98)00040-3)
- Capron, I; Robert, P; Colonna, P; Brogly, M; Planchot, V. 2007. Starch in rubbery and glassy states by FTIR spectroscopy. *Carbohydrate Polymers* 68:249–259.

- Cardona Serrate, F. (2019). Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y aplicaciones.
- Carrascal-Sánchez J. Acetilación del almidón de *Arracacia xanthorrhiza* y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico. Universidad Nacional de Colombia. 2013.
- Chávez-Salazar, A., Álvarez-Barreto, C. I., Hoyos-Leyva, J. D., Bello-Pérez, L. A., & Castellanos-Galeano, F. J. (2022). Drying processes of OSA-modified plantain starch trigger changes in its functional properties and digestibility. *LWT*, *154*, 112846. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112846>
- Díaz, B. Y. (2015). Determinación de las propiedades físicas, químicas, funcionales y la estabilidad en congelación/ descongelación del almidón de cuatro variedades de papa nativa (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigenum*). Andahuaylas, Apurímac, Perú.: Tesis de pregrado, E.P. Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional José María Arguedas.
- Enrique, A., & Ruiz, S. (2013). *Acetilación del almidón de millo y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico*.
- Ferreira, V. L. (1981). *Princípios e aplicações da colorimetria em alimentos*. Brasil: Intrucoes tecnicas.
- Fonseca-Florido, H. A., Vázquez-García, H. G., Méndez-Montevalvo, G., Basilio-Cortés, U. A., Navarro-Cortés, R., Rodríguez-Marín, M. L., . . . Gómez-Aldapa, C. A. (2018). Effect of acid hydrolysis and OSA esterification of waxy cassava starch on emulsifying properties in Pickering-type emulsions. *LWT*, *91*, 258-264. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.057>
- Fuentes, C., Choi, J., Wahlgren, M., & Nilsson, L. (2023). Charge and zeta-potential distribution in starch modified with octenyl succinic anhydride (OSA) determined using electrical asymmetrical flow field-flow fractionation (EAF4). *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *657*, 130570. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.130570>.
- Gao, H; Cai, J; Han, W; Huai, H; Chen, Y; Wei, C. 2014. Comparison of starches isolated from three different *Trapa* species. *Food Hydrocolloids* 37:174-181.
- García, O., Pinzon, M., y Sanchez, L. (2012). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ica, como materia prima para la elaboración de películas comestibles @limentech, *ciencia y tecnología alimentaria*, 11(1) 13-21.

- Gonzalez, Z. and E. Pérez (2003). Evaluación Físico-Química y Funcional de Almidones de Yuca (*Manihot esculenta* Crantz) pregelatinizados y calentados con microondas. *A. C. Venezolana*. 54: 127-137.
- Guenet, J.-M. (2008). Chapter 7 - Amylose. In J.-M. Guenet (Ed.), *Polymer-Solvent Molecular Compounds* (pp.87.95).Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-008045144-2.50012-X](https://doi.org/10.1016/B978-008045144-2.50012-X).
- Guo, J., Kong, L., Du, B., & Xu, B. (2019). Morphological and physicochemical characterization of starches isolated from chestnuts cultivated in different regions of China. *International journal of biological macromolecules*, 130, 357-368
- Hernández-Medina, M; Torruco-Uco, JG; Chel-Guerrero, L; Betnacur-Ancona, D. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivos en Yucatán, México. *Ciencia e Tecnología de Alimentos* 28(3):718-726.
- Hidalgo Ortiz, A. X. (2016). *Modificación química de almidón nativo de maca (Lepidium Peruvianum) en sus características fisicoquímicas y reológicas*.
- Hoover, R. (2001). Composición, estructura molecular y las propiedades fisico-químicas de los tubérculos de raíces. *Almidones: carbohidratos y polimeros.*, 253-267.
- Hoover, R. (2002). Efecto del tratamiento de calor, humedad en la estructura y las propiedades físico-químicas de los almidones de raíz. *Carbohidratos y polimeros*, 425-437.
- Hoover, R. S. (1996). Caracterización de almidones de arroz integral silvestre y de grano largo. *Food Research International*, 99-107.
- Hui, R; Qi-He, C; Ming-Liang, F; Qiong, X; Guo-Qing, H. 2009. Preparation and properties of octenyl succinic anhydride modified potato starch. *Food Chemistry* 114:81–86.
- Hunter, R. J., Zeta (1988). Potential, In: *Colloid Science: Principles and Applications*, Academic Press, UK.
- Leach, H.W., Mc Cowen, L.D., & Schoch, T.J. (1959). Structure of the starch granules. In: swelling and solubility patterns of various starches, *Cereal Chemistry*, 36, 534 – 544.
- Lian, X., C. Wang, K. Zhang y L. Li, (2014). The Retrogradation Properties of Glutinous Rice and Buckwheat Starches as Observed with FT-IR, <sup>13</sup>C NMR and DSC. *International Journal of Biological Macromolecules*, 64, 288-293.
- Ligarda-Samanez, C. A., Moscoso-Moscoso, E., Choque-Quispe, D., Palomino-Rincón, H., Martínez-Huamán, E. L., Huamán-Carrión, M. L., . . . Muñoz-Melgarejo, M. (2022).

- Microencapsulation of Erythrocytes Extracted from *Cavia porcellus* Blood in Matrices of Tara Gum and Native Potato Starch. *Foods*, 11(14), 2107.
- Lopez-Silva, M., Agama-Acevedo, E., Yee-Madeira, H., Bello-Perez, L. A., & Alvarez-Ramirez, J. (2022). Effect of gelatinization degree on emulsification capacity of corn starch esterified with octenyl succinic acid. *Food Chemistry*, 375, 131657. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131657>
- Lopez-Silva, M., Bello-Perez, L. A., Agama-Acevedo, E., & Alvarez-Ramirez, J. (2019). Effect of amylose content in morphological, functional and emulsification properties of OSA modified corn starch. *Food Hydrocolloids*, 97, 105212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105212>.
- Luo et al., 2019 K. Luo, K.-H. Parque, D.-H. Lee, C.-E. Hong, Y.- Canción, S.-H. Yoo, Y.- R. Kim Cinética de autoensamblaje de glucanos de cadena corta desramificados a partir de almidón de maíz ceroso para formar micropartículas esféricas y sus aplicaciones Coloides y superficies B: biointerfaces, 176 (2019 ), págs. 352 – 359.
- Martins, P. C., Gutkoski, L. C., & Martins, V. G. (2018). Impact of acid hydrolysis and esterification process in rice and potato starch properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 959-965 <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.170>.
- Mbougoueng P, Tenin D, Scher J, Tchiégang C. 2012 Influence of acetylation on physico-chemical, functional and thermal properties of potato and cassava starches. *J Food Eng.* ;108(2): 320-326.
- Miladinov, V. D., & Hanna, M. A. (2000). Starch esterification by reactive extrusion. *Industrial Crops and Products*, 11(1), 51-57. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(99\)00033-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0926-6690(99)00033-3).
- Molina, L., P., C., Lima, P., Martínez, P., Peña, F., Gómez, Y., . . . Velez-moro, C. (2019). *PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS, FUNCIONALES Y ESTRUCTURALES DE ALMIDONES NATIVOS Y ACETILADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA PAPA (Solanum tuberosum) var. 'ÚNICA'* (Rev Soc Quím Perú, Issue).
- Mollega, S., Barrios, S. E., Feijoo, J. L., Contreras, J. M., Müller, A. J., & López-Carrasquero, F. (2011). Modificación química de almidón de yuca nativo mediante la reacción de

- carboximetilación en medio acuoso. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 26, 117-128.
- Monroy, Y., Rivero, S., & García, M. A. *Modificación física de almidón de mandioca inducida por ultrasonido*.
- Moorthy, SN (2002). Propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidones de tubérculos tropicales: una revisión. *Almidón*, 54, 559-592
- Obadi y Xu, 2021 M.Obadi , B.Xu Revisión de las propiedades fisicoquímicas, modificaciones y aplicaciones de los almidones y sus formas modificadas comunes utilizadas en productos de fideos. *Hidrocoloides alimentarios*, 112, artículo 106286.
- Orientadores, M., & Manuel, J. *Obtención y caracterización de almidón químicamente modificado de arroz*.
- Ovando-Martinez, M; Whitney, K; Ozsisli, B; Simsek, S. 2017. Physicochemical properties of octenyl succinic esters of cereal, tuber and root starches. *Journal of Food Processing and Preservation* 41:1–9.
- Paredes-López, O., Schevenin, M.L., Hernández- López, D. Y Cáavez-Trejo, A:1989. Amaranth Starch- Isolation and partial characterization, *Starch/Stärke* 41:205-207.
- Pateras, I. (1998) Bread storage and staling, in *Technology of Breadmaking* (eds S.P. Cauvain and L.S. Young), Blackie Academic & Professional.
- Peña, C. E. (2017). Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de ilave (puno). lima: tesi br.Pires, FCS.
- Pena, RS. 2017. Optimization of spray drying process parameters for tucupi powder using the response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology* 54(11):3459–3472.
- Pires, FCS; Pena, RS. 2017. Optimization of spray drying process parameters for tucupi powder using the response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology* 54(11):3459–3472.
- Punia et al., 2019 S. Punia , AK Siroha , KS Sandhu , M. Kaur Comportamiento reológico y pegajoso de almidones de frijol mungo modificados con OSA y su utilización en la formulación de tortas como sustituto de grasa *Revista internacional de macromoléculas biológicas* , 128 ( 2019 ) , pp. 230 - 236.

- Radley, J. A. (1976). "Industrial uses of starch and its derivatives." Applied Science Publisher LTD: 51-52
- Ramazan Kizil, Joseph Irudayaraj, & Seetharaman, K. (2002). Characterization of Irradiated Starches by Using FT-Raman and FTIR Spectroscopy. <https://doi.org/10.1021/JF011652P>.
- Remanan, M. K., & Zhu, F. (2023). Encapsulation of rutin in Pickering emulsions stabilized using octenyl succinic anhydride (OSA) modified quinoa, maize, and potato starch nanoparticles. *Food Chemistry*, 405, 134790. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134790>
- Remanan, M. K., & Zhu, F. (2023). Encapsulation of rutin in Pickering emulsions stabilized using octenyl succinic anhydride (OSA) modified quinoa, maize, and potato starch nanoparticles. *Food Chemistry*, 405, 134790. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134790>.
- Rodríguez-Pineda, L. M., De, E., Muñoz-Prieto, J., Rius-Alonso, C. A., & Palacios-Alquisira, J. (2018). *Preparation and Characterization of Potato Starch Microparticles with Acrylamide by Microwave Radiation. Preparación y Caracterización de Micropartículas de Almidón de Papa con Acrilamida por Irradiación de Microondas* (Ciencia en Desarrollo, Issue).
- Rommel Edison Palomino Mallma, B., David Choque Quispe, I., & Betsy Suri Ramos Pacheco, I. *UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL*.
- Rooney LW, Pflugfelder RL (1986) Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.* 63: 1607-1613.
- San Martín Martínez, E., Ramírez Salinas, M. A. (2020). Avances de investigación en Nanociencias, Micro y Nanotecnologías. España: Omniascience.
- Sánchez, G. I. (2017). Propiedades fisicoquímicas de almidones catiónicos elaborados por extrusión (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Sánchez, I. (2007). Propiedades fisicoquímicas de almidones catiónicos elaborados por extrusión. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Shah A, Masoodi FA, Gani A, Ahmad B. 2017. Physicochemical, rheological and structural characterization of acetylated oat starches. *LWT Food Sci Technol.* 80: 19-26.

- Shih, F. F., y Daigle, K. W. 2003 Gelatinization and pasting properties of rice starch modified with 2-octenylsuccinic anhydride. *Nahrung*, 47, 64-67.
- Shogren, R.L., Viswanathan, A., Felker, F., Gross, R. A. 2000 Distribution of octenyl succinate groups in octenyl succinic anhydride modified waxy maize starch. *Starch/starke*. 52, 196-204.
- Singh Sodhi, N. y Singh, N. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. *Food Chemistry*. Vol. 80(1).99-108.
- Sivack M, Preiss J. 1998. *Starch: Basic Science to Biotechnology*. Advances in Food and Nutrition Research. Academic Press, New York, pp. 41.
- Swinkels, J. 1985. Composition and properties of commercial and native starches. *Starch* 37, 1-5
- Tester y Morrison, W. R. (1990). Hinchazón y la gelatinización de los almidones de cereales y efectos de amilopectina, amilosa y lípidos. *La química de los cereales*, 551-557.
- Thitipraphunkul, K., Uttapap, D., Piyachomkwan, K. & Takeda, Y. 2003. A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part I. Chemical composition and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers* 53, 317-324
- Thoufeek Ahamed, N., Singhal, R. S., Pushpa R., K., & Palb, M. 1996. Propiedades físico-químicas y funcionales de almidón de (*Chenopodium quinoa*). *Carbohidratos y Polímeros*, 99-103.
- Torrenegra Alarcón, M. E., Osorio Fortich, M. d. R., León Méndez, G., & González Petro, B. (2016). Esterificación de almidones propios de la región Caribe colombiana [almidones nativos; DDSA; capacidad emulsificante; esterificación]. *2016*, 50(4).
- Vaclavick, V. (1998). *Almidones en los Alimentos en Fundamentos de Ciencia de los Alimentos*. 1era ed.; Editorial Acribia: España.
- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Functional properties of potato (*Solanum tuberosum*) starch and its chemical modification by acetylation. *Scientia Agropecuaria*, 7, 223-230. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.09>
- Vásquez Arévalo, K. J. (2020). *Revisión sistemática de los métodos de modificación estructural del almidón para la producción del bioplástico*.
- Velásquez Barreto, F. (2019) Obtención y aplicación de almidones modificados por esterificación (OSA) a partir de almidones nativos provenientes de tubérculos andinos. [Tesis doctoral]. Perú: Escuela De Posgrado Doctorado En Ciencia De Alimentos, Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Wang et al., 2020 X. Wang, L. Huang, C. Zhang, Y. Deng, J. Cheng Avances de investigación en modificaciones químicas del almidón para hidrofobicidad y sus aplicaciones: una revisión Polímeros de carbohidratos, 240 (1) (2020).
- Wang Y, Wang L. 2002. Characterization of acetylated waxy maize starches prepared under catalysis by different alkali and alkaline-earth hydroxides. *Starch/Stärke*.; 54: 5-30.
- Zhang, J., Ran, C., Jiang, X., & Dou, J. (2021). Impact of octenyl succinic anhydride (OSA) esterification on microstructure and physicochemical properties of sorghum starch. *LWT*, 152, 112320. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112320](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112320)
- Zhang, P., Whistler, R.L., BeMiller, J.N. y Hamaker, B.R. 2005 Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility-a review. *Carbohydrate Polymers*. 59, 443-458.
- Zheng, G. H.; Sosulski, F.W. Determination of Water Separation from Cooked Starch and Flour Pastes after Refrigeration and Freeze-Thaw. *Journal of Food Science*, 1998, 63(1),136-139.
- Zobel, H. (1988). "Starch crystal transformation and their industrial importance." *Starch Starke* (4041): 1-7.

## ANEXOS

### Anexo 1. ANOVA y prueba de rangos múltiples para color

#### Análisis de Varianza para Color L - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	0.0237444	2	0.0118722	0.12	0.8896
B:BLOQUE	16.4547	1	16.4547	163.53	0.0000
RESIDUOS	1.40874	14	0.100625		
TOTAL (CORREGIDO)	17.8872	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Análisis de Varianza para Color L - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	0.0237444	2	0.0118722	0.12	0.8896
B:BLOQUE	16.4547	1	16.4547	163.53	0.0000
RESIDUOS	1.40874	14	0.100625		
TOTAL (CORREGIDO)	17.8872	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Color L por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3%	6	91.43	0.129502	X
1,5%	6	91.4833	0.129502	X
0%	6	91.5183	0.129502	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%		0.035	0.392805
0% - 3%		0.0883333	0.392805
1,5% - 3%		0.0533333	0.392805

\* indica una diferencia significativa.

#### Análisis de Varianza para Cromo a\* - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	0.0276333	2	0.0138167	12.77	0.0007
B:BLOQUE	0.748272	1	0.748272	691.73	0.0000
RESIDUOS	0.0151444	14	0.00108175		
TOTAL (CORREGIDO)	0.79105	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## Pruebas de Múltiple Rangos para Cromo a\* por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1,5%	6	-0.13	0.0134272	X
3%	6	-0.0533333	0.0134272	X
0%	6	-0.0416667	0.0134272	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	0.0883333	0.0407274
0% - 3%		0.0116667	0.0407274
1,5% - 3%	*	-0.0766667	0.0407274

\* indica una diferencia significativa.

## Análisis de Varianza para Cromo b\* - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	0.138478	2	0.0692389	7.28	0.0068
B:BLOQUE	6.9938	1	6.9938	735.27	0.0000
RESIDUOS	0.133167	14	0.0095119		
TOTAL (CORREGIDO)	7.26544	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## Pruebas de Múltiple Rangos para Cromo b\* por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1,5%	6	2.495	0.039816	X
3%	6	2.53167	0.039816	X
0%	6	2.69667	0.039816	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	0.201667	0.12077
0% - 3%	*	0.165	0.12077
1,5% - 3%		-0.0366667	0.12077

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 2. ANOVA y prueba de rangos múltiples para el índice de blancura

### Análisis de Varianza para Índice de blancura - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: %OSA	0.124344	2	0.0621722	7.00	0.0078
B: BLOQUE	5.83681	1	5.83681	656.82	0.0000
RESIDUOS	0.124411	14	0.00888651		
TOTAL (CORREGIDO)	6.08556	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de blancura por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	97.0667	0.0384849	X
3%	6	97.225	0.0384849	X
1,5%	6	97.2567	0.0384849	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	-0.19	0.116732
0% - 3%	*	-0.158333	0.116732
1,5% - 3%		0.0316667	0.116732

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 3. ANOVA y prueba de rangos múltiples para contenido de humedad

#### Análisis de Varianza para Humedad - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	2.45322	2	1.22661	13.04	0.0006
B:BLOQUE	0.692861	1	0.692861	7.37	0.0168
RESIDUOS	1.31694	14	0.0940673		
TOTAL (CORREGIDO)	4.46303	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1,5%	6	8.53563	0.125211	X
0%	6	9.31295	0.125211	X
3%	6	9.32447	0.125211	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	0.777317	0.37979
0% - 3%		-0.0115167	0.37979
1,5% - 3%	*	-0.788833	0.37979

\* indica una diferencia significativa.

#### Anexo 4. ANOVA y prueba de rangos múltiples para actividad de agua

##### Análisis de Varianza para AW - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	0.0151324	2	0.00756622	91.28	0.0000
B:BLOQUE	0.0000760556	1	0.0000760556	0.92	0.3544
RESIDUOS	0.00116044	14	0.0000828889		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0163689	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

##### Pruebas de Múltiple Rangos para AW por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3%	6	0.328833	0.00371683	X
1,5%	6	0.334167	0.00371683	X
0%	6	0.392833	0.00371683	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	0.0586667	0.0112739
0% - 3%	*	0.064	0.0112739
1,5% - 3%		0.00533333	0.0112739

\* indica una diferencia significativa.

#### Anexo 5. ANOVA y prueba de rangos múltiples para tamaño de partícula

##### Análisis de Varianza para tamaño de partícula - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	8.18067	2	4.09033	2.90	0.0729
B:BLOQUE	0.560333	1	0.560333	0.40	0.5339
RESIDUOS	36.6607	26	1.41003		
TOTAL (CORREGIDO)	45.4017	29			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

##### Pruebas de Múltiple Rangos para tamaño de partícula por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1.5%	10	31.57	0.375503	X
0%	10	31.66	0.375503	XX
3%	10	32.72	0.375503	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1.5%		0.09	1.09157
0% - 3%		-1.06	1.09157
1.5% - 3%	*	<b>-1.15</b>	1.09157

## Anexo 6. ANOVA y prueba de rangos múltiples para pH

### Análisis de Varianza para pH - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	5.88484	2	2.94242	126.54	<b>0.0000</b>
B:BLOQUE	1.32845	1	1.32845	57.13	<b>0.0000</b>
RESIDUOS	0.325533	14	0.0232524		
TOTAL (CORREGIDO)	7.53883	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para pH por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	5.345	0.0622527	X
1,5%	6	6.435	0.0622527	X
3%	6	6.65167	0.0622527	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	<b>-1.09</b>	0.188824
0% - 3%	*	<b>-1.30667</b>	0.188824
1,5% - 3%	*	<b>-0.216667</b>	0.188824

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 7. ANOVA y prueba de rangos múltiples para amilosa

### Análisis de Varianza para Amilosa - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: %OSA	113.798	2	56.8988	35.04	<b>0.0000</b>
B: BLOQUE	46.3685	1	46.3685	28.55	<b>0.0001</b>
RESIDUOS	22.7352	14	1.62394		
TOTAL (CORREGIDO)	182.901	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Amilosa por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3%	6	20.6767	0.520247	X
1,5%	6	25.065	0.520247	X
0%	6	26.6133	0.520247	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%		1.54833	1.57801
0% - 3%	*	5.93667	1.57801
1,5% - 3%	*	4.38833	1.57801

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 8. ANOVA y prueba de rangos múltiples para grado de sustitución

### Análisis de Varianza para Grado de Sustitución - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	0.000779881	2	0.000389941	868.83	0.0000
B:BLOQUE	0.00000242	1	0.00000242	5.39	0.0358
RESIDUOS	0.00000628333	14	4.4881E-7		
TOTAL (CORREGIDO)	0.000788584	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Grado de Sustitución por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	0	0.000273499	X
1,5%	6	0.0111833	0.000273499	X
3%	6	0.01565	0.000273499	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	-0.0111833	0.000829575
0% - 3%	*	-0.01565	0.000829575
1,5% - 3%	*	-0.00446667	0.000829575

\* indica una diferencia significativa

## Anexo 9. ANOVA y prueba de rangos múltiples para temperatura de gelatinización

### Análisis de Varianza para T° Gelatinización - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	3.76444	2	1.88222	84.10	0.0000
B:BLOQUE	15.125	1	15.125	675.80	0.0000

RESIDUOS	0.313333	14	0.022381		
TOTAL (CORREGIDO)	19.2028	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para T° Gelatinizacion por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3%	6	59.55	0.061075	X
1,5%	6	60.2833	0.061075	X
0%	6	60.65	0.061075	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	0.366667	0.185252
0% - 3%	*	1.1	0.185252
1,5% - 3%	*	0.733333	0.185252

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 10. ANOVA y prueba de rangos múltiples Sinéresis

#### Análisis de Varianza para Sinéresis 24h - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	196.608	2	98.3039	471.14	0.0000
B:BLOQUE	28.6272	1	28.6272	137.20	0.0000
RESIDUOS	2.92111	14	0.208651		
TOTAL (CORREGIDO)	228.156	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Sinéresis 24h por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3%	6	27.0667	0.186481	X
1,5%	6	31.95	0.186481	X
0%	6	35.1	0.186481	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	3.15	0.565633
0% - 3%	*	8.03333	0.565633
1,5% - 3%	*	4.88333	0.565633

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para Sinéresis 48h - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	68.7344	2	34.3672	77.65	0.0000
B:BLOQUE	29.645	1	29.645	66.98	0.0000
RESIDUOS	6.19667	14	0.442619		
TOTAL (CORREGIDO)	104.576	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Sinéresis 48h por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3%	6	32.6667	0.271606	X
1,5%	6	34.4167	0.271606	X
0%	6	37.4	0.271606	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	2.98333	0.823834
0% - 3%	*	4.73333	0.823834
1,5% - 3%	*	1.75	0.823834

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para Sinéresis 72h - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	94.3211	2	47.1606	258.47	0.0000
B:BLOQUE	22.8939	1	22.8939	125.47	0.0000
RESIDUOS	2.55444	14	0.18246		
TOTAL (CORREGIDO)	119.769	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Sinéresis 72h por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3%	6	36.2667	0.174385	X
1,5%	6	37.6	0.174385	X
0%	6	41.65	0.174385	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	4.05	0.528943
0% - 3%	*	5.38333	0.528943
1,5% - 3%	*	1.33333	0.528943

\* indica una diferencia significativa.

**Anexo 11. ANOVA y prueba de rangos múltiples para Poder de hinchamiento, capacidad de absorción de agua y solubilidad.**

**Análisis de Varianza para CAA 50°C - Suma de Cuadrados Tipo III**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	0.452296	2	0.226148	12.10	0.0009
B:BLOQUE	0.196983	1	0.196983	10.54	0.0059
RESIDUOS	0.261674	14	0.018691		
TOTAL (CORREGIDO)	0.910953	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Pruebas de Múltiple Rangos para CAA 50°C por %OSA**

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	3.10328	0.0558137	X
1,5%	6	3.24515	0.0558137	X
3%	6	3.48723	0.0558137	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%		-0.141867	0.169294
0% - 3%	*	-0.38395	0.169294
1,5% - 3%	*	-0.242083	0.169294

\* indica una diferencia significativa.

**Análisis de Varianza para CAA 60°C - Suma de Cuadrados Tipo III**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	41.1933	2	20.5967	79.32	0.0000
B:BLOQUE	4.8261	1	4.8261	18.59	0.0007
RESIDUOS	3.63531	14	0.259665		
TOTAL (CORREGIDO)	49.6548	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Pruebas de Múltiple Rangos para CAA 60°C por %OSA**

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	13.6267	0.208033	X
1,5%	6	15.4538	0.208033	X
3%	6	17.3322	0.208033	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	-1.8271	0.631003
0% - 3%	*	-3.70543	0.631003
1,5% - 3%	*	-1.87833	0.631003

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para CAA 70°C - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	20.7921	2	10.3961	23.44	0.0000
B:BLOQUE	25.2469	1	25.2469	56.92	0.0000
RESIDUOS	6.20939	14	0.443528		
TOTAL (CORREGIDO)	52.2484	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para CAA 70°C por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	14.9758	0.271885	X
1,5%	6	15.9571	0.271885	X
3%	6	17.582	0.271885	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	-0.981317	0.824679
0% - 3%	*	-2.60627	0.824679
1,5% - 3%	*	-1.62495	0.824679

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para CAA 80°C - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	21.9857	2	10.9929	45.73	0.0000
B:BLOQUE	56.4375	1	56.4375	234.77	0.0000
RESIDUOS	3.36548	14	0.240391		
TOTAL (CORREGIDO)	81.7887	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para CAA 80°C por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	26.1966	0.200163	X
1,5%	6	27.1499	0.200163	X
3%	6	28.8675	0.200163	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	-0.95325	0.607133
0% - 3%	*	-2.67092	0.607133
1,5% - 3%	*	-1.71767	0.607133

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para CAA 90°C - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	239.458	2	119.729	52.13	0.0000
B:BLOQUE	55.2448	1	55.2448	24.05	0.0002
RESIDUOS	32.1561	14	2.29686		
TOTAL (CORREGIDO)	326.859	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para CAA 90°C por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	35.606	0.618717	X
1,5%	6	39.7424	0.618717	X
3%	6	44.5322	0.618717	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	-4.13638	1.87669
0% - 3%	*	-8.9262	1.87669
1,5% - 3%	*	-4.78982	1.87669

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para Phinchamiento 50°C - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	1.20234	2	0.60117	20.18	0.0001
B:BLOQUE	0.47834	1	0.47834	16.06	0.0013
RESIDUOS	0.417041	14	0.0297886		
TOTAL (CORREGIDO)	2.09772	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Phinchamiento 50°C por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	3.8389	0.0704611	X
1,5%	6	4.05397	0.0704611	X
3%	6	4.46208	0.0704611	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	-0.215067	0.213722
0% - 3%	*	-0.623183	0.213722
1,5% - 3%	*	-0.408117	0.213722

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para Phinchamiento 60°C - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	89.861	2	44.9305	106.24	0.0000
B:BLOQUE	15.7205	1	15.7205	37.17	0.0000
RESIDUOS	5.92076	14	0.422912		
TOTAL (CORREGIDO)	111.502	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para poder de hinchamiento 60°C por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	17.9077	0.265491	X
1,5%	6	20.5565	0.265491	X
3%	6	23.3798	0.265491	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	-2.64875	0.805284
0% - 3%	*	-5.47207	0.805284
1,5% - 3%	*	-2.82332	0.805284

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para Phinchamiento 70°C - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	46.9935	2	23.4967	27.33	0.0000
B:BLOQUE	52.3367	1	52.3367	60.88	0.0000
RESIDUOS	12.0361	14	0.859722		
TOTAL (CORREGIDO)	111.366	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Phinchamiento 70°C por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	20.1837	0.378533	X
1,5%	6	21.6825	0.378533	X
3%	6	24.1054	0.378533	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	-1.49883	1.14816
0% - 3%	*	-3.92172	1.14816
1,5% - 3%	*	-2.42288	1.14816

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para Phinchamiento 80°C - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	116.979	2	58.4896	91.48	0.0000
B:BLOQUE	155.011	1	155.011	242.45	0.0000
RESIDUOS	8.95114	14	0.639367		
TOTAL (CORREGIDO)	280.942	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Phinchamiento 80°C por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	36.8638	0.326437	X
1,5%	6	39.1051	0.326437	X
3%	6	43.0319	0.326437	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	-2.24132	0.990147
0% - 3%	*	-6.16815	0.990147
1,5% - 3%	*	-3.92683	0.990147

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para Phinchamiento 90°C - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	1593.63	2	796.816	77.24	0.0000
B:BLOQUE	406.23	1	406.23	39.38	0.0000
RESIDUOS	144.431	14	10.3165		
TOTAL (CORREGIDO)	2144.29	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Phinchamiento 90°C por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	57.3396	1.31127	X
1,5%	6	67.408	1.31127	X
3%	6	80.3287	1.31127	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
0% - 1,5%	*	-10.0684	3.97733	

0% - 3%	*	-22.9891	3.97733
1,5% - 3%	*	-12.9207	3.97733

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para Solubilidad 50°C - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	22.6641	2	11.3321	58.59	0.0000
B:BLOQUE	6.27182	1	6.27182	32.43	0.0001
RESIDUOS	2.7077	14	0.193407		
TOTAL (CORREGIDO)	31.6437	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Solubilidad 50°C por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	19.1458	0.17954	X
1,5%	6	19.9306	0.17954	X
3%	6	21.8195	0.17954	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	-0.784733	0.544579
0% - 3%	*	-2.67363	0.544579
1,5% - 3%	*	-1.8889	0.544579

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para Solubilidad 60°C - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	11.4413	2	5.72065	56.66	0.0000
B:BLOQUE	14.3709	1	14.3709	142.35	0.0000
RESIDUOS	1.4134	14	0.100957		
TOTAL (CORREGIDO)	27.2256	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Solubilidad 60°C por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	23.875	0.129716	X
1,5%	6	24.7847	0.129716	X
3%	6	25.8264	0.129716	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
-----------	------	------------	-------------

0% - 1,5%	*	-0.909733	0.393453
0% - 3%	*	-1.9514	0.393453
1,5% - 3%	*	-1.04167	0.393453

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para Solubilidad 70°C - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	5.11821	2	2.5591	28.93	0.0000
B:BLOQUE	2.19912	1	2.19912	24.86	0.0002
RESIDUOS	1.23861	14	0.088472		
TOTAL (CORREGIDO)	8.55594	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Solubilidad 70°C por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	25.75	0.12143	X
1,5%	6	26.3681	0.12143	X
3%	6	27.0556	0.12143	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	-0.61805	0.368322
0% - 3%	*	-1.30555	0.368322
1,5% - 3%	*	-0.6875	0.368322

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para Solubilidad 80°C - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	48.7419	2	24.3709	65.70	0.0000
B:BLOQUE	8.1678	1	8.1678	22.02	0.0003
RESIDUOS	5.19332	14	0.370952		
TOTAL (CORREGIDO)	62.103	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Solubilidad 80°C por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	28.8958	0.248647	X
1,5%	6	30.4653	0.248647	X
3%	6	32.8958	0.248647	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
-----------	------	------------	-------------

0% - 1,5%	*	-1.56947	0.754194
0% - 3%	*	-4.00002	0.754194
1,5% - 3%	*	-2.43055	0.754194

\* indica una diferencia significativa.

### Análisis de Varianza para Solubilidad 90°C - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	129.149	2	64.5743	176.01	0.0000
B:BLOQUE	36.0067	1	36.0067	98.14	0.0000
RESIDUOS	5.13636	14	0.366883		
TOTAL (CORREGIDO)	170.292	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Solubilidad 90°C por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	6	37.8681	0.24728	X
1,5%	6	40.9097	0.24728	X
3%	6	44.4236	0.24728	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	-3.04167	0.750047
0% - 3%	*	-6.55555	0.750047
1,5% - 3%	*	-3.51388	0.750047

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 12. ANOVA y prueba de rangos múltiples para potencial zeta

#### Análisis de Varianza para Potencial Z - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:%OSA	1123.45	2	561.724	18.95	0.0001
B:BLOQUE	3.35578	1	3.35578	0.11	0.7415
RESIDUOS	414.972	14	29.6409		
TOTAL (CORREGIDO)	1541.78	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para Potencial Z por %OSA

Método: 95.0 porcentaje LSD

%OSA	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3%	6	-29.82	2.22264	X
1,5%	6	-21.6717	2.22264	X
0%	6	-10.545	2.22264	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 1,5%	*	11.1267	6.74171
0% - 3%	*	19.275	6.74171
1,5% - 3%	*	8.14833	6.74171

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 13. Pruebas de Múltiple Rangos para Luminosidad por Variable DCA

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
E	3	90.15	X
F	3	90.5967	X
D	3	90.8167	X
A	3	92.22	X
C	3	92.2633	X
B	3	92.8167	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	-0.596667	0.141639
A - C		-0.0433333	0.141639
A - D	*	1.40333	0.141639
A - E	*	2.07	0.141639
A - F	*	1.62333	0.141639
B - C	*	0.553333	0.141639
B - D	*	2.0	0.141639
B - E	*	2.66667	0.141639
B - F	*	2.22	0.141639
C - D	*	1.44667	0.141639
C - E	*	2.11333	0.141639
C - F	*	1.66667	0.141639
D - E	*	0.666667	0.141639
D - F	*	0.22	0.141639
E - F	*	-0.446667	0.141639

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 14. Pruebas de Múltiple Rangos para Cromo a\* por Variable DCA

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
B	3	-0.326667	X
A	3	-0.283333	X
C	3	-0.226667	X
E	3	0.0666667	X
F	3	0.12	X
D	3	0.2	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	0.0433333	0.0132599
A - C	*	-0.0566667	0.0132599
A - D	*	-0.483333	0.0132599
A - E	*	-0.35	0.0132599
A - F	*	-0.403333	0.0132599
B - C	*	-0.1	0.0132599
B - D	*	-0.526667	0.0132599
B - E	*	-0.393333	0.0132599
B - F	*	-0.446667	0.0132599

C - D	*	-0.426667	0.0132599
C - E	*	-0.293333	0.0132599
C - F	*	-0.346667	0.0132599
D - E	*	0.133333	0.0132599
D - F	*	0.08	0.0132599
E - F	*	-0.053333	0.0132599

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 15. Pruebas de Múltiple Rangos para Cromo b\* por Variable DCA

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C	3	1.90667	X
B	3	1.96667	X
A	3	1.98	X
E	3	3.02333	X
F	3	3.15667	X
D	3	3.41333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B		0.013333	0.0839675
A - C		0.073333	0.0839675
A - D	*	-1.43333	0.0839675
A - E	*	-1.04333	0.0839675
A - F	*	-1.17667	0.0839675
B - C		0.06	0.0839675
B - D	*	-1.44667	0.0839675
B - E	*	-1.05667	0.0839675
B - F	*	-1.19	0.0839675
C - D	*	-1.50667	0.0839675
C - E	*	-1.11667	0.0839675
C - F	*	-1.25	0.0839675
D - E	*	0.39	0.0839675
D - F	*	0.256667	0.0839675
E - F	*	-0.133333	0.0839675

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 16. Pruebas de Múltiple Rangos para humedad por Variable DCA

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
E	3	8.38853	X
B	3	8.68273	XX
D	3	8.91327	XX
F	3	9.28267	XX
C	3	9.36627	XX
A	3	9.71263	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	1.0299	0.490169
A - C		0.346367	0.490169
A - D	*	0.799367	0.490169
A - E	*	1.3241	0.490169
A - F		0.429967	0.490169
B - C	*	-0.683533	0.490169
B - D		-0.230533	0.490169
B - E		0.2942	0.490169
B - F	*	-0.599933	0.490169

C - D		0.453	0.490169
C - E	*	0.977733	0.490169
C - F		0.0836	0.490169
D - E	*	0.524733	0.490169
D - F		-0.3694	0.490169
E - F	*	-0.894133	0.490169

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 17. Pruebas de Múltiple Rangos para Actividad de agua por Variable DCA

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F	3	0.323	X
B	3	0.334	X
E	3	0.334333	X
C	3	0.334667	X
A	3	0.381	X
D	3	0.404667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	0.047	0.00711599
A - C	*	0.0463333	0.00711599
A - D	*	-0.0236667	0.00711599
A - E	*	0.0466667	0.00711599
A - F	*	0.058	0.00711599
B - C		-0.000666667	0.00711599
B - D	*	-0.0706667	0.00711599
B - E		-0.000333333	0.00711599
B - F	*	0.011	0.00711599
C - D	*	-0.07	0.00711599
C - E		0.000333333	0.00711599
C - F	*	0.0116667	0.00711599
D - E	*	0.0703333	0.00711599
D - F	*	0.0816667	0.00711599
E - F	*	0.0113333	0.00711599

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 18. Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Variable DCA

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
D	3	4.92667	X
A	3	5.76333	X
E	3	6.31667	X
F	3	6.37333	X
B	3	6.55333	X
C	3	6.93	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	-0.79	0.120585
A - C	*	-1.16667	0.120585
A - D	*	0.836667	0.120585
A - E	*	-0.553333	0.120585
A - F	*	-0.61	0.120585
B - C	*	-0.376667	0.120585
B - D	*	1.62667	0.120585
B - E	*	0.236667	0.120585

B - F	*	0.18	0.120585
C - D	*	2.00333	0.120585
C - E	*	0.613333	0.120585
C - F	*	0.556667	0.120585
D - E	*	-1.39	0.120585
D - F	*	-1.44667	0.120585
E - F		-0.0566667	0.120585

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 19. Pruebas de Múltiple Rangos para Amilosa por Variable DCA

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F	3	0.175089	X
C	3	0.238427	X
E	3	0.244526	X
D	3	0.255786	X
B	3	0.256724	X
A	3	0.276429	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	0.019705	0.00204446
A - C	*	0.0380025	0.00204446
A - D	*	0.0206433	0.00204446
A - E	*	0.0319033	0.00204446
A - F	*	0.10134	0.00204446
B - C	*	0.0182975	0.00204446
B - D		0.000938333	0.00204446
B - E	*	0.0121983	0.00204446
B - F	*	0.081635	0.00204446
C - D	*	-0.0173592	0.00204446
C - E	*	-0.00609917	0.00204446
C - F	*	0.0633375	0.00204446
D - E	*	0.01126	0.00204446
D - F	*	0.0806967	0.00204446
E - F	*	0.0694367	0.00204446

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 20. Pruebas de Múltiple Rangos para grado de sustitución por Variable DCA

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
D	3	0	X
A	3	0	X
E	3	0.0111333	X
B	3	0.0112333	X
F	3	0.0146	X
C	3	0.0167	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	-0.0112333	0.000739468
A - C	*	-0.0167	0.000739468
A - D		0	0.000739468
A - E	*	-0.0111333	0.000739468
A - F	*	-0.0146	0.000739468
B - C	*	-0.00546667	0.000739468
B - D	*	0.0112333	0.000739468

B - E		0.0001	0.000739468
B - F	*	-0.00336667	0.000739468
C - D	*	0.0167	0.000739468
C - E	*	0.00556667	0.000739468
C - F	*	0.0021	0.000739468
D - E	*	-0.0111333	0.000739468
D - F	*	-0.0146	0.000739468
E - F	*	-0.00346667	0.000739468

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 21. Pruebas de Múltiple Rangos para Temperatura de gelatinización por Variable DCA

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F	3	58.6667	X
E	3	59.4333	X
D	3	59.6333	X
C	3	60.4333	X
B	3	61.1333	X
A	3	61.6667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	0.533333	0.240877
A - C	*	1.23333	0.240877
A - D	*	2.03333	0.240877
A - E	*	2.23333	0.240877
A - F	*	3.0	0.240877
B - C	*	0.7	0.240877
B - D	*	1.5	0.240877
B - E	*	1.7	0.240877
B - F	*	2.46667	0.240877
C - D	*	0.8	0.240877
C - E	*	1.0	0.240877
C - F	*	1.76667	0.240877
D - E		0.2	0.240877
D - F	*	0.966667	0.240877
E - F	*	0.766667	0.240877

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 22. Pruebas de Múltiple Rangos para Sinéresis por Variable DCA 24 horas

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C	3	25.7633	X
F	3	28.3367	X
B	3	30.4533	X
E	3	33.41	X
A	3	34.0767	X
D	3	36.0767	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	3.62333	0.745718
A - C	*	8.31333	0.745718
A - D	*	-2.0	0.745718
A - E		0.666667	0.745718
A - F	*	5.74	0.745718

B - C	*	4.69	0.745718
B - D	*	-5.62333	0.745718
B - E	*	-2.95667	0.745718
B - F	*	2.11667	0.745718
C - D	*	-10.3133	0.745718
C - E	*	-7.64667	0.745718
C - F	*	-2.57333	0.745718
D - E	*	2.66667	0.745718
D - F	*	7.74	0.745718
E - F	*	5.07333	0.745718

\* indica una diferencia significativa.

## 48 horas

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C	3	31.1	X
B	3	32.78	X
F	3	34.1633	X
E	3	36.0167	X
A	3	36.6833	X
D	3	38.0667	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	3.90333	0.934816
A - C	*	5.58333	0.934816
A - D	*	-1.38333	0.934816
A - E		0.666667	0.934816
A - F	*	2.52	0.934816
B - C	*	1.68	0.934816
B - D	*	-5.28667	0.934816
B - E	*	-3.23667	0.934816
B - F	*	-1.38333	0.934816
C - D	*	-6.96667	0.934816
C - E	*	-4.91667	0.934816
C - F	*	-3.06333	0.934816
D - E	*	2.05	0.934816
D - F	*	3.90333	0.934816
E - F	*	1.85333	0.934816

\* indica una diferencia significativa.

## 72 horas

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C	3	34.8733	X
B	3	36.5667	X
F	3	37.6833	X
E	3	38.56	X
A	3	40.69	X
D	3	42.6267	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	4.12333	0.706142
A - C	*	5.81667	0.706142
A - D	*	-1.93667	0.706142
A - E	*	2.13	0.706142
A - F	*	3.00667	0.706142

B - C	*	1.69333	0.706142
B - D	*	-6.06	0.706142
B - E	*	-1.99333	0.706142
B - F	*	-1.11667	0.706142
C - D	*	-7.75333	0.706142
C - E	*	-3.68667	0.706142
C - F	*	-2.81	0.706142
D - E	*	4.06667	0.706142
D - F	*	4.94333	0.706142
E - F	*	0.876667	0.706142

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 23. Pruebas de Múltiple Rangos para capacidad de absorción de agua por Variable DCA

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
D	3	3.04877	X
A	3	3.1578	XX
E	3	3.2039	XX
F	3	3.26917	X
B	3	3.2864	X
C	3	3.7053	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B		-0.1286	0.195755
A - C	*	-0.5475	0.195755
A - D		0.109033	0.195755
A - E		-0.0461	0.195755
A - F		-0.111367	0.195755
B - C	*	-0.4189	0.195755
B - D	*	0.237633	0.195755
B - E		0.0825	0.195755
B - F		0.0172333	0.195755
C - D	*	0.656533	0.195755
C - E	*	0.5014	0.195755
C - F	*	0.436133	0.195755
D - E		-0.155133	0.195755
D - F	*	-0.2204	0.195755
E - F		-0.0652667	0.195755

\* indica una diferencia significativa.

### Anexo 24. Pruebas de Múltiple Rangos para poder de hinchamiento por Variable DCA

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
D	3	3.74327	X
A	3	3.93453	XX
E	3	3.96507	XX
B	3	4.14287	X
F	3	4.15757	X
C	3	4.7666	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B		-0.208333	0.249855
A - C	*	-0.832067	0.249855
A - D		0.191267	0.249855

A - E		-0.0305333	0.249855
A - F		-0.223033	0.249855
B - C	*	-0.623733	0.249855
B - D	*	0.3996	0.249855
B - E		0.1778	0.249855
B - F		-0.0147	0.249855
C - D	*	1.02333	0.249855
C - E	*	0.801533	0.249855
C - F	*	0.609033	0.249855
D - E		-0.2218	0.249855
D - F	*	-0.4143	0.249855
E - F		-0.1925	0.249855

\* indica una diferencia significativa.

## Anexo 25. Pruebas de Múltiple Rangos para solubilidad en agua por Variable DCA

Método: 95.0 porcentaje LSD

Variable	Casos	Media	Grupos Homogéneos
D	3	18.5555	X
E	3	19.1944	XX
A	3	19.7361	X
B	3	20.6667	X
F	3	21.375	X
C	3	22.2639	X

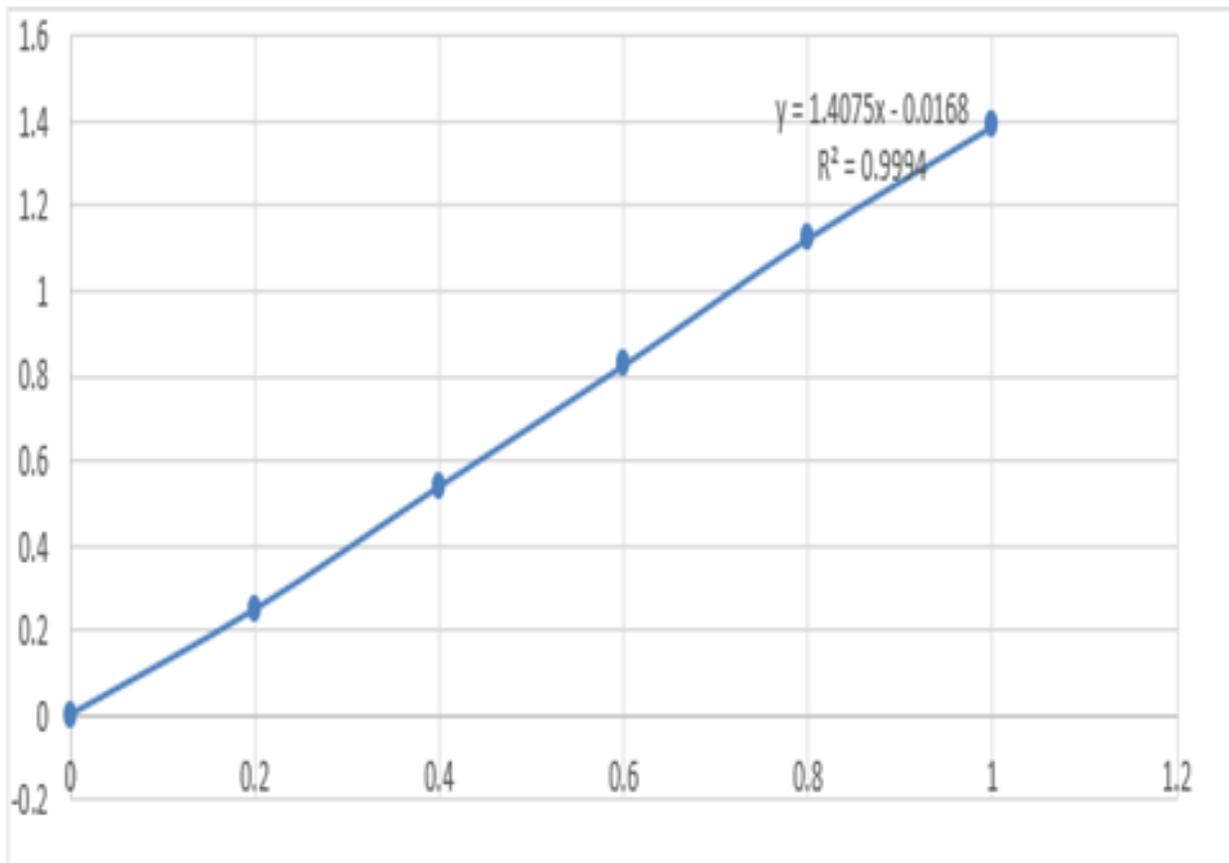
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	-0.930567	0.804246
A - C	*	-2.5278	0.804246
A - D	*	1.18057	0.804246
A - E		0.541667	0.804246
A - F	*	-1.6389	0.804246
B - C	*	-1.59723	0.804246
B - D	*	2.11113	0.804246
B - E	*	1.47223	0.804246
B - F		-0.708333	0.804246
C - D	*	3.70837	0.804246
C - E	*	3.06947	0.804246
C - F	*	0.8889	0.804246
D - E		-0.6389	0.804246
D - F	*	-2.81947	0.804246
E - F	*	-2.18057	0.804246

\* indica una diferencia significativa.

**Anexo 26. Curva de calibración para determinar amilosa y amilopectina.**

Valores de absorbancias de las mezclas de amilosa

Amilosa STD	Absorbancia			
	R1	R2	R3	ABS promedio
0	0	0	0	0
0.2	0.249	0.248	0.248	0.248
0.4	0.537	0.537	0.54	0.538
0.6	0.824	0.824	0.823	0.824
0.8	1.124	1.123	1.123	1.123
1	1.391	1.388	1.386	1.388



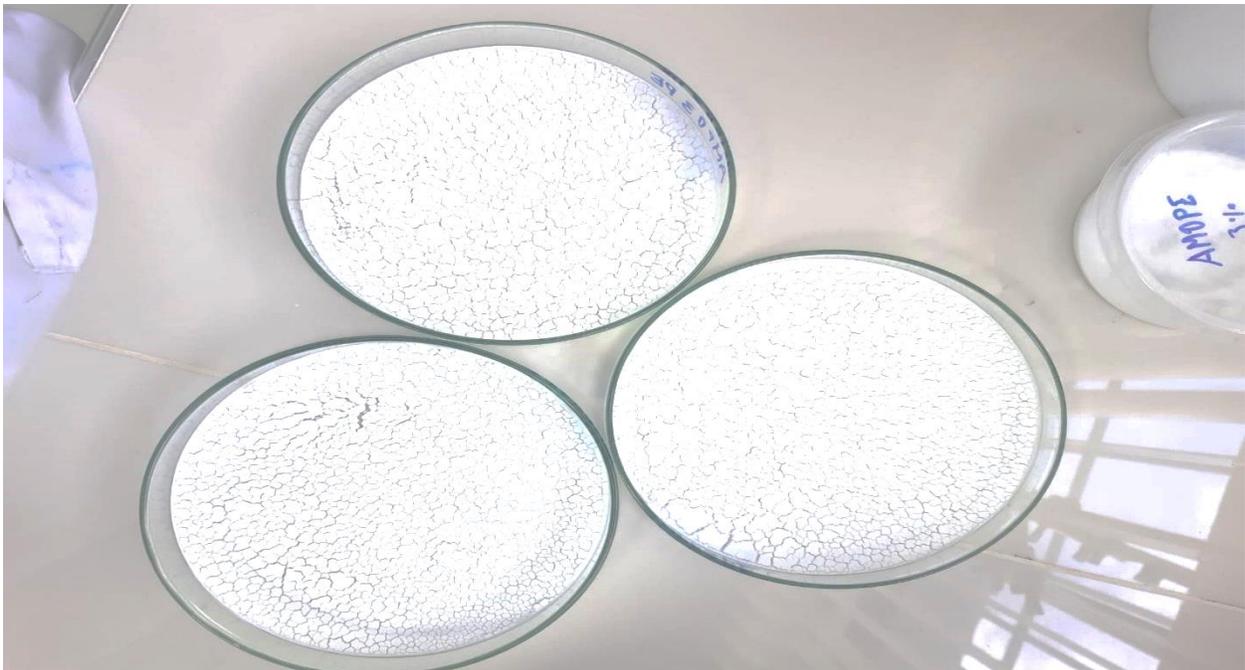
Anexo 27. Papas utilizadas para la extracción de almidón



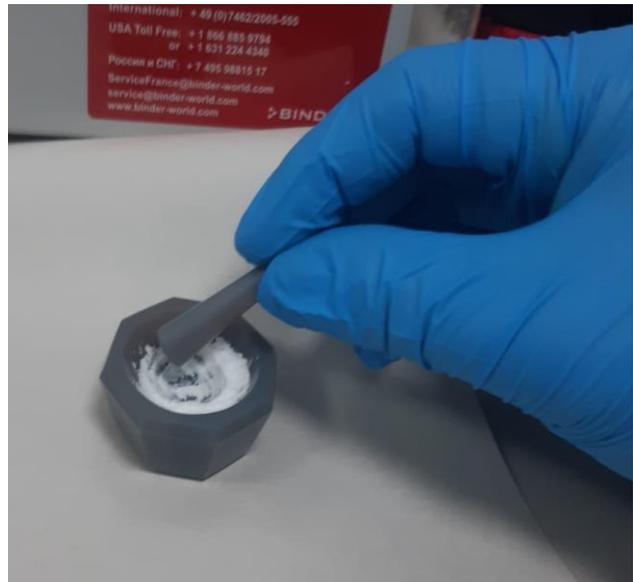
**Anexo 28. Extracción del almidón.**



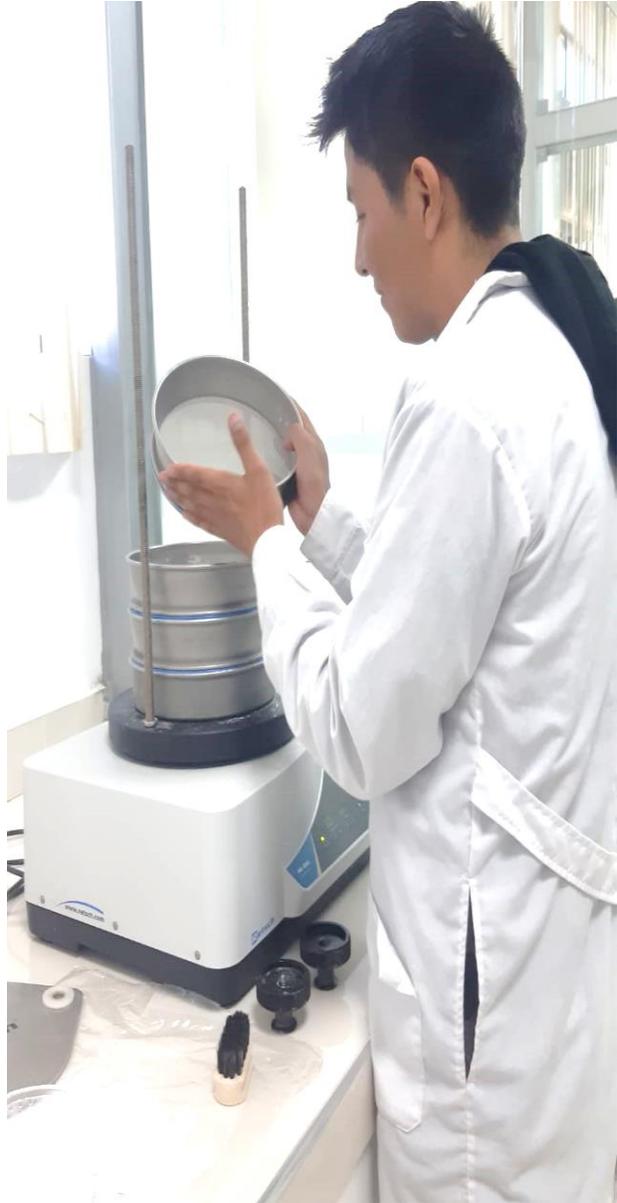
## Anexo 29. Secado del almidón



### Anexo 30. Molienda del almidón



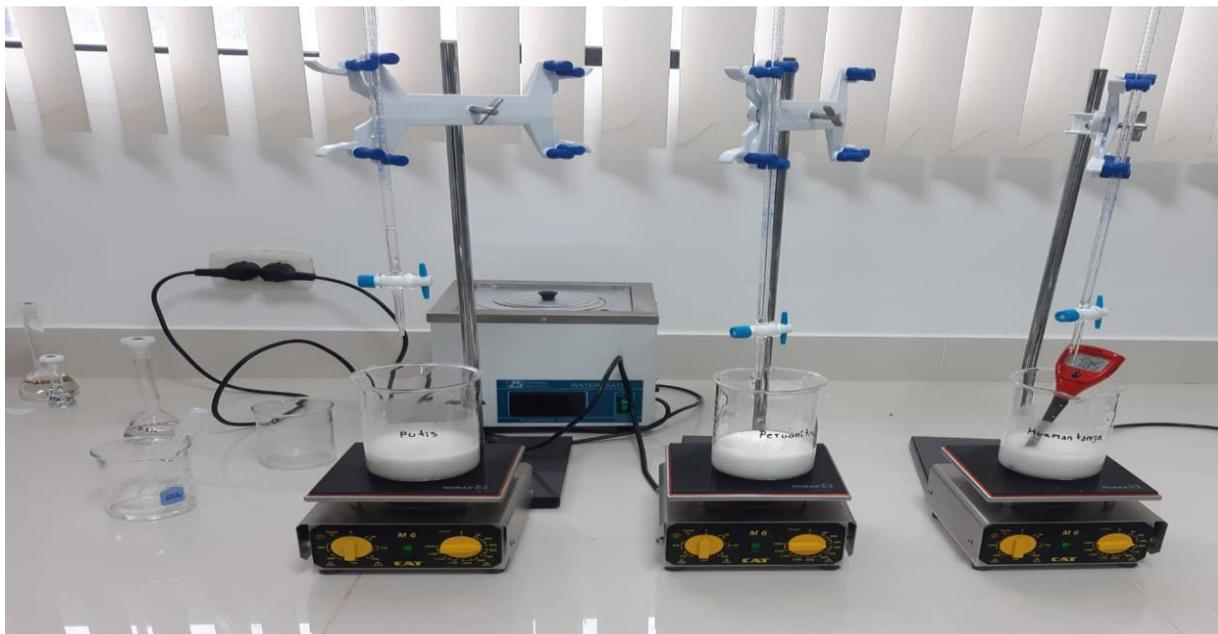
## Anexo 31. Tamizado del almidón



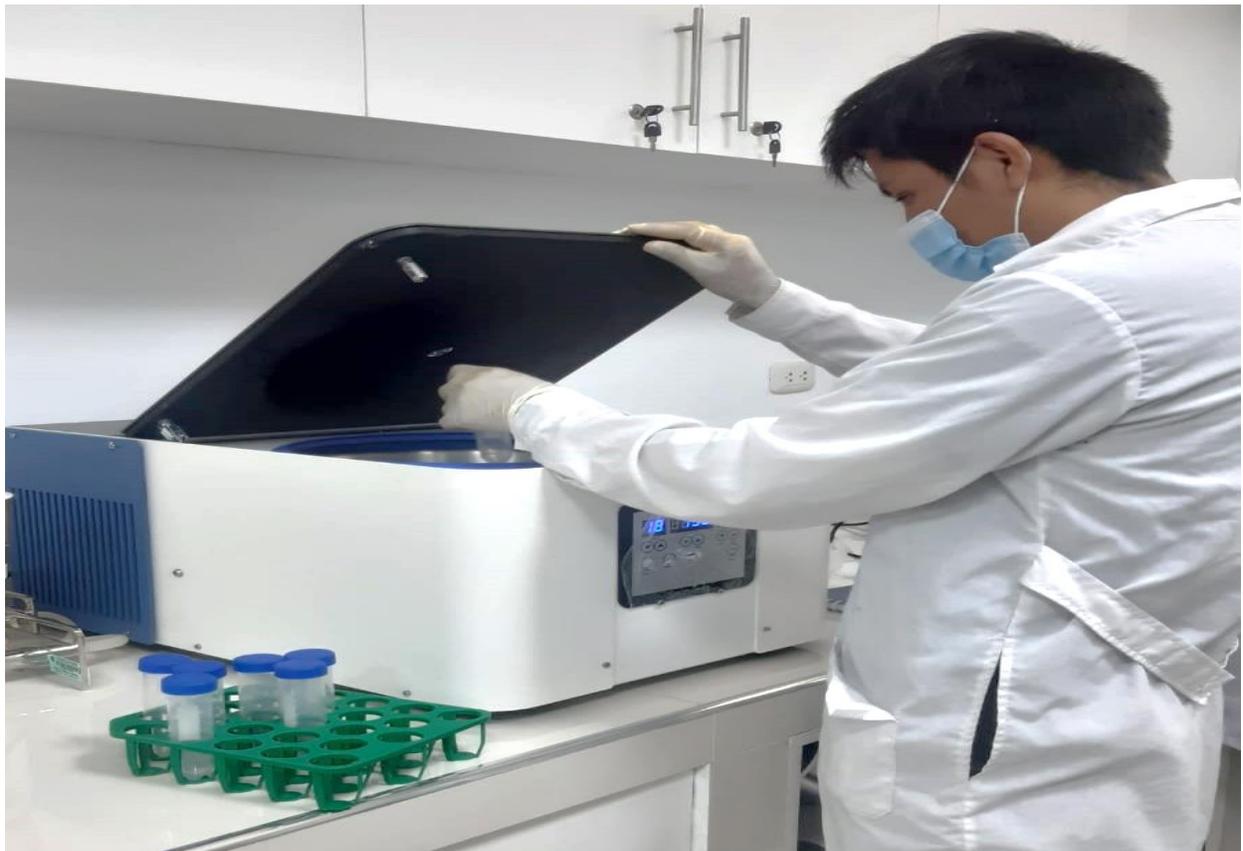
## Anexo 32. Pesado del almidón



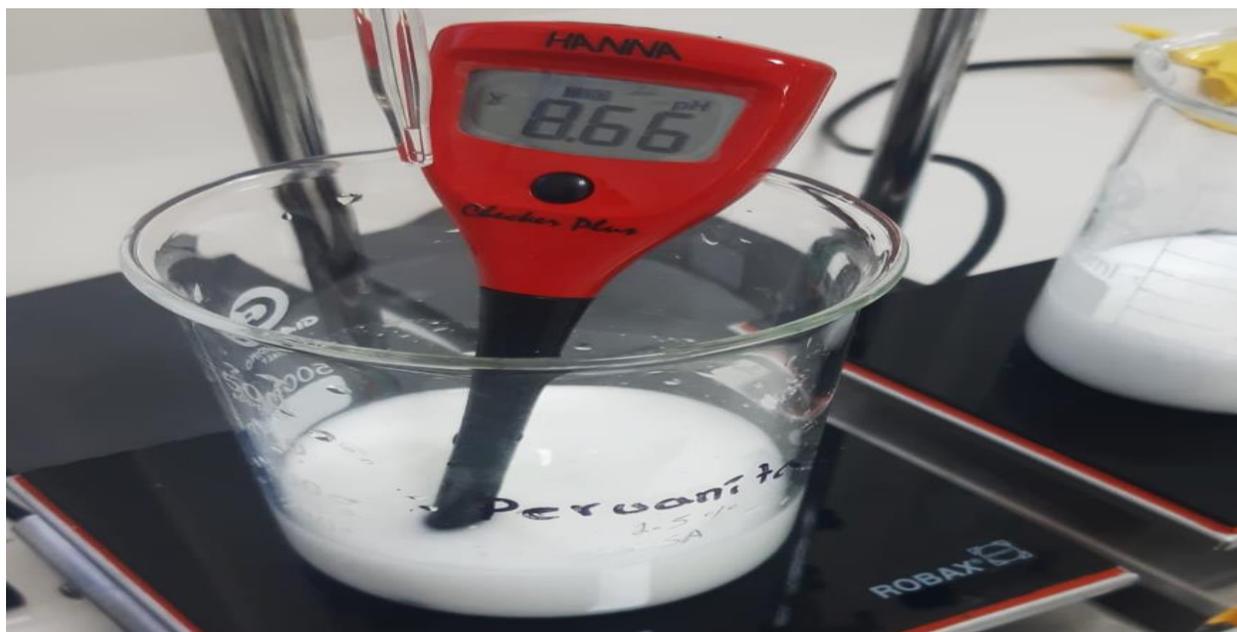
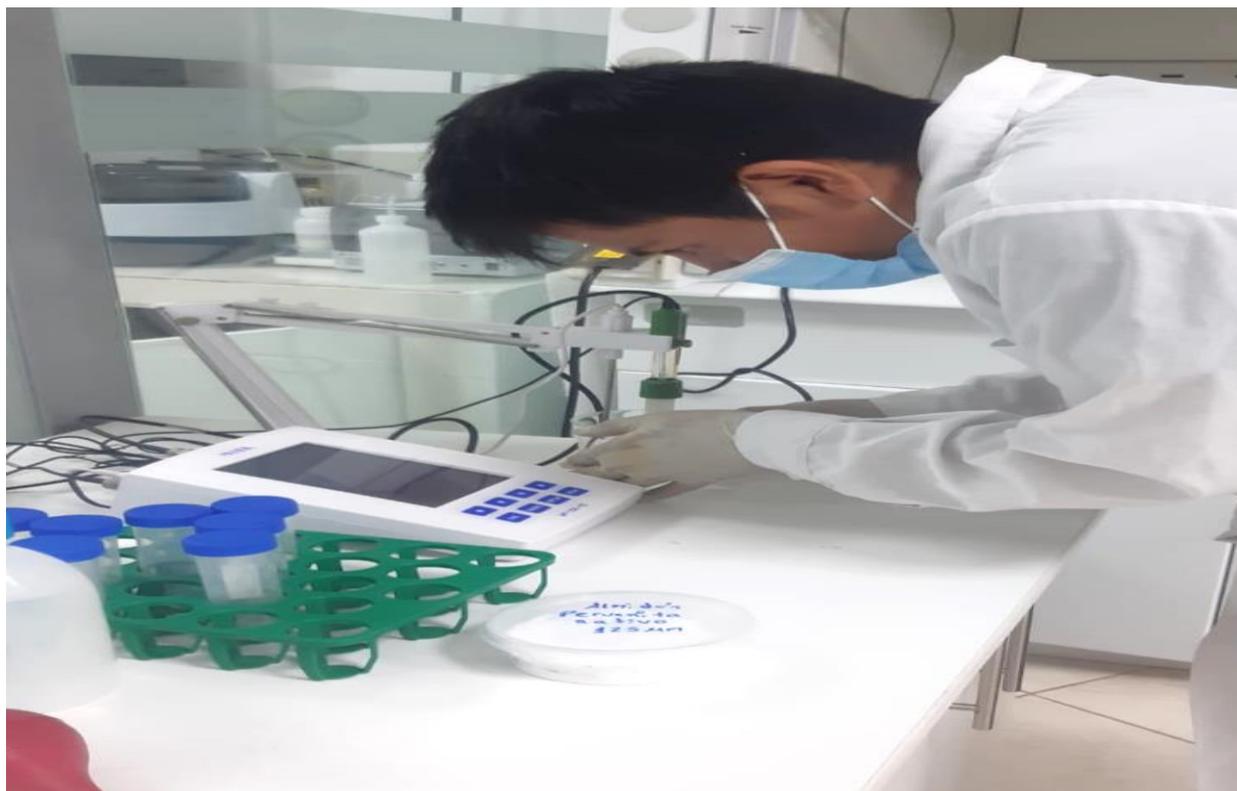
### Anexo 33. Modificación con AOS del almidón



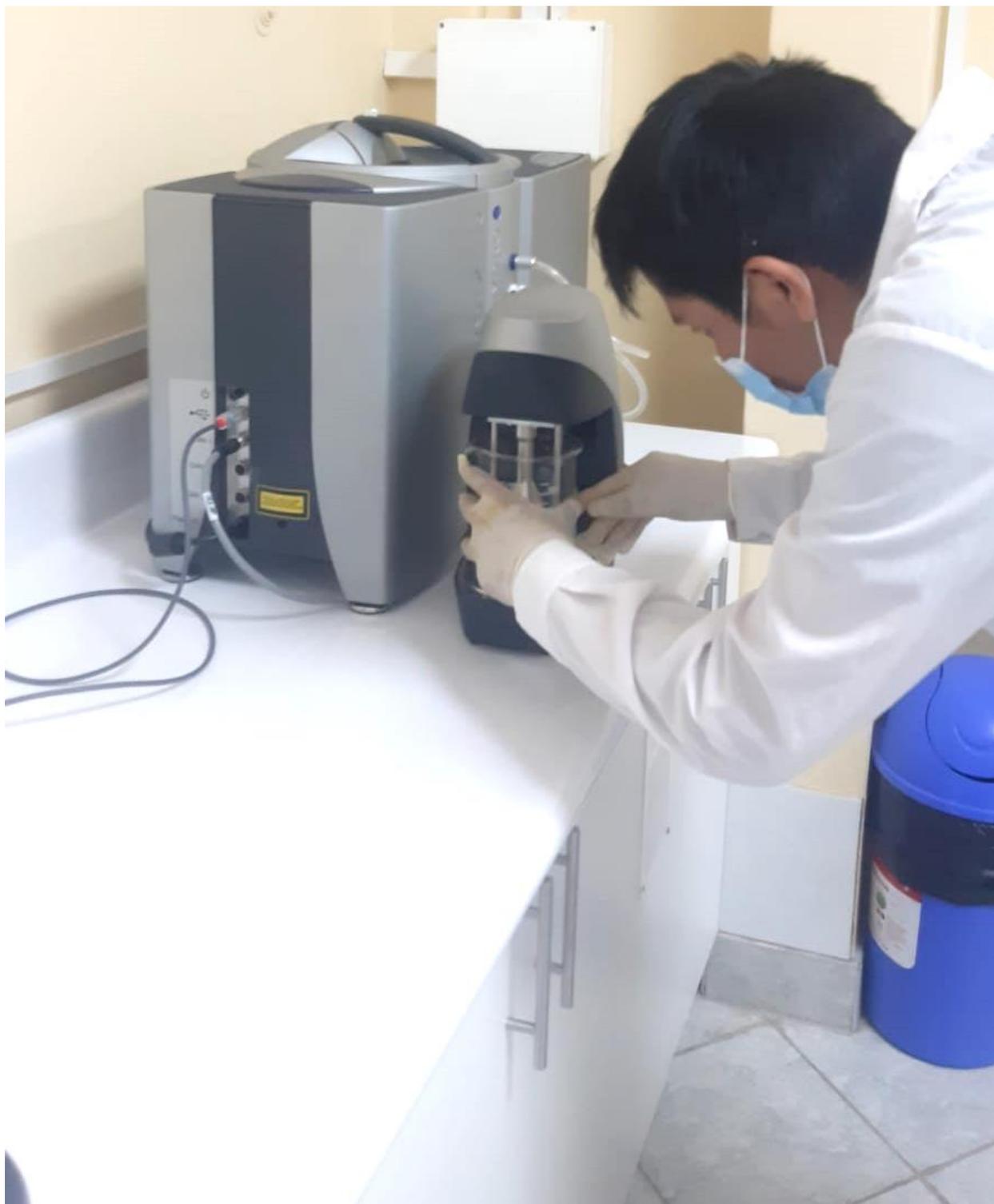
## Anexo 34. Centrifugado del almidón



### Anexo 35. Medición del pH del almidón



**Anexo 36. Medición del tamaño de partícula en el equipo Master sizer**



**Anexo 37. Medición del potencial zeta en el equipo Zeta sizer**



**Anexo 38. Medición de la capacidad de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento.**



## Anexo 39. Medición de grupos funcionales



## Anexo 40. Medición del color



## Anexo 41. Determinación de amilosa



**Anexo 42. Congelación para determinar sinéresis**



**Anexo 43. Datos obtenidos por triplicado para el color e índice de blancura**

	Luminosidad	Croma a*	Croma b*	Indice de blancura (%)
PE0%	92.23	-0.29	1.96	97.74
	92.2	-0.27	1.97	97.74
	92.23	-0.29	2.01	97.70
PE1.5%	92.84	-0.32	1.97	97.73
	92.82	-0.33	1.98	97.72
	92.79	-0.33	1.95	97.75
PE3%	92.29	-0.22	1.94	97.77
	92.23	-0.23	1.87	97.83
	92.27	-0.23	1.91	97.79
PU0%	90.86	0.2	3.42	96.40
	90.8	0.2	3.42	96.40
	90.79	0.2	3.4	96.42
PU1.5%	90.03	0.06	2.99	96.81
	90.36	0.07	3.14	96.67
	90.06	0.07	2.94	96.86
PU3%	90.64	0.12	3.16	96.65
	90.57	0.11	3.14	96.67
	90.58	0.13	3.17	96.64

**Anexo 44. Datos obtenidos por triplicado para el contenido de humedad**

	Peso de placas Vacias(g)	Peso de la muestra inicial(g)	Placa+Muestra (g)	Peso placa+Muestra final(g)	Peso Final(g)	Humedad	Humedad (%)
PE0%	45.8365	1.2199	47.0564	45.9559	1.1005	0.0979	9.7877
	47.1468	1.1032	48.2500	47.2511	0.9989	0.0945	9.4543
	45.9063	1.2965	47.2028	46.0346	1.1682	0.0990	9.8959
PE1.5%	47.3779	1.0251	48.4030	47.4700	0.9330	0.0898	8.9845
	45.8764	1.0481	46.9245	45.9645	0.9600	0.0841	8.4057
	47.5616	1.0499	48.6115	47.6525	0.9590	0.0866	8.6580
PE3%	47.6373	1.5679	49.2052	47.7883	1.4169	0.0963	9.6307
	36.0220	1.3698	37.3918	36.1515	1.2403	0.0945	9.4539
	37.2036	1.1615	38.3651	37.3083	1.0568	0.0901	9.0142
PU0%	47.3285	1.2316	48.5601	47.4393	1.1208	0.0900	8.9964
	45.8038	1.1094	46.9132	45.9144	0.9988	0.0997	9.9694
	45.7813	1.0110	46.7923	45.8719	0.9204	0.0896	8.9614
PU1.5%	45.7260	1.0018	46.7278	45.8107	0.9171	0.0845	8.4548
	47.4176	1.0046	48.4222	47.5050	0.9172	0.0870	8.7000
	45.7329	1.0386	46.7715	45.8161	0.9554	0.0801	8.0108
PU3%	48.2221	1.1000	49.3221	48.3275	0.9946	0.0958	9.5818
	46.7361	1.2364	47.9725	46.8475	1.1250	0.0901	9.0100
	47.5769	1.2595	48.8364	47.6833	1.1531	0.0845	8.4478

**Anexo 45. Datos obtenidos por triplicado para actividad de agua**

	Actividad de agua	T(°C)
PE0%	0.377	21.56
	0.384	21.6
	0.382	21.66
PE1.5%	0.330	21.32
	0.334	21.31
	0.338	21.38
PE3%	0.340	21.28
	0.334	21.3
	0.330	21.32
PU0%	0.400	21.66
	0.407	21.71
	0.407	21.71
PU1.5%	0.331	21.28
	0.334	21.3
	0.338	21.32
PU3%	0.320	20.95
	0.327	21.1
	0.322	21.26

**Anexo 46. Datos obtenidos por quintuplicado del tamaño de partícula**

<b>Nombre de la muestra</b>	<b>Tamaño de partícula</b>
PE 0%	31.60
PE 0%	31.70
PE 0%	31.60
PE 0%	31.60
PE 0%	31.40
PE 1.5%	30.20
PE 1.5%	30.20
PE 1.5%	30.00
PE 1.5%	30.00
PE 1.5%	29.90
PE 3%	33.80
PE 3%	33.90
PE 3%	33.90
PE 3%	34.00
PE 3%	33.90
PU 0%	31.90
PU 0%	31.70
PU 0%	31.90
PU 0%	31.60
PU 0%	31.60
PU 1.5%	33.00
PU 1.5%	33.10
PU 3%	31.90
PU 3%	31.50
PU 3%	31.50
PU 3%	31.50
PU 3%	31.30

**Anexo 47. Datos medidos por triplicado para el pH**

	<b>pH</b>	<b>T(°C)</b>
PE0%	5.85	ambiente (20 °C)
	5.73	ambiente (20 °C)
	5.71	ambiente (20 °C)
PE1.5%	6.58	ambiente (20 °C)
	6.53	ambiente (20 °C)
	6.55	ambiente (20 °C)
PE3%	6.98	ambiente (20 °C)
	6.79	ambiente (20 °C)
	7.02	ambiente (20 °C)
PU0%	4.98	ambiente (20 °C)
	4.87	ambiente (20 °C)
	4.93	ambiente (20 °C)
PU1.5%	6.33	ambiente (20 °C)
	6.28	ambiente (20 °C)
	6.34	ambiente (20 °C)
PU3%	6.42	ambiente (20 °C)
	6.37	ambiente (20 °C)
	6.33	ambiente (20 °C)

**Anexo 48. Datos medidos por triplicado del grado de sustitución**

	Gasto NaOH(ml)	H	Molaridad NaOH (M)	Peso seco del almidón(W)	Grado de sustitución
PE1,5%	0.8	0.7	0.1	1	0.0115
	0.75	0.65	0.1	1	0.0107
	0.8	0.7	0.1	1	0.0115
PE3%	1.08	0.98	0.1	1	0.0162
	1.1	1	0.1	1	0.0165
	1.15	1.05	0.1	1	0.0174
PU1,5%	0.8	0.65	0.1	1	0.0107
	0.83	0.68	0.1	1	0.0112
	0.85	0.7	0.1	1	0.0115
PU3%	1.05	0.9	0.1	1	0.0149
	1.05	0.9	0.1	1	0.0149
	1	0.85	0.1	1	0.0140

Donde:

Gasto PE0%(A) : 0.1

Gasto PU0%(A) : 0.15

H: Gasto de NaOH del almidón modificado menos el almidón nativo A (ml)

**Anexo 49. Datos medidos por triplicado para la amilosa y amilopectina**

	<b>Lectura absorbancia</b>	<b>Amilosa</b>	<b>Amilopectina</b>
PE1,5%	0.374	0.28	72.23%
	0.37	0.27	72.52%
	0.374	0.28	72.23%
PE3%	0.344	0.26	74.37%
	0.344	0.26	74.37%
	0.346	0.26	74.22%
PU1,5%	0.316	0.24	76.36%
	0.32	0.24	76.07%
	0.32	0.24	76.07%
PU3%	0.344	0.26	74.37%
	0.342	0.25	74.51%
	0.344	0.26	74.37%
PE1,5%	0.328	0.24	75.50%
	0.328	0.24	75.50%
	0.326	0.24	75.64%
PE3%	0.229	0.17	82.54%
	0.231	0.18	82.39%
	0.229	0.17	82.54%

**Anexo 50. Datos medidos por triplicado para la temperatura de gelatinización**

	Temperatura de gelatinización(°C)
PE1,5%	61.6
	61.7
	61.7
PE3%	60.9
	61.2
	61.3
PU1,5%	60.6
	60.4
	60.3
PU3%	59.5
	59.6
	59.8
PE1,5%	59.4
	59.4
	59.5
PE3%	58.8
	58.6
	58.6

**Anexo 51. Datos medidos por triplicado para la sinéresis**

<b>SINÉRESIS</b>									
	24h			48h			72h		
	Peso muestra(g)	Peso gel(g)	Sinéresis (%)	Peso muestra (g)	Peso gel(g)	Sinéresis (%)	Peso muestra (g)	Peso gel(g)	Sinéresis (%)
PE0	1.0	0.6544	34.56	1.0	0.6345	36.55	1.0	0.5987	40.13
	1.0	0.6603	33.97	1.0	0.6351	36.49	1.0	0.5876	41.24
	1.0	0.6630	33.7	1.0	0.6299	37.01	1.0	0.593	40.7
PE1,5	1.0	0.6944	30.56	1.0	0.6744	32.56	1.0	0.6375	36.25
	1.0	0.7010	29.9	1.0	0.6734	32.66	1.0	0.6304	36.96
	1.0	0.6910	30.9	1.0	0.6688	33.12	1.0	0.6351	36.49
PE3	1.0	0.7435	25.65	1.0	0.6954	30.46	1.0	0.6521	34.79
	1.0	0.7468	25.32	1.0	0.6821	31.79	1.0	0.6521	34.79
	1.0	0.7368	26.32	1.0	0.6895	31.05	1.0	0.6496	35.04
PU0	1.0	0.6375	36.25	1.0	0.6175	38.25	1.0	0.5703	42.97
	1.0	0.6403	35.97	1.0	0.6130	38.7	1.0	0.5741	42.59
	1.0	0.6399	36.01	1.0	0.6275	37.25	1.0	0.5768	42.32
PU1,5	1.0	0.6685	33.15	1.0	0.6474	35.26	1.0	0.6175	38.25
	1.0	0.6604	33.96	1.0	0.6379	36.21	1.0	0.6103	38.97
	1.0	0.6688	33.12	1.0	0.6342	36.58	1.0	0.6154	38.46
PU3	1.0	0.7201	27.99	1.0	0.6574	34.26	1.0	0.6288	37.12
	1.0	0.7144	28.56	1.0	0.6574	34.26	1.0	0.6197	38.03
	1.0	0.7154	28.46	1.0	0.6603	33.97	1.0	0.621	37.9

**Anexo 52. Datos medidos por triplicado para la capacidad de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad**

Masa	0.24	50°C							
		Peso tubo(g)	Peso placa(g)	Peso tubo+gel(g)	Peso sobrenadante +placa seco(g)	sobrenadante seco (g)	Gel(g)	CAA	PH
PE0	6.5247	50.8156	7.2602	50.8617	0.0461	0.7355	3.0646	3.7932	19.2083
	6.4365	45.8227	7.191	45.8715	0.0488	0.7545	3.1438	3.9461	20.3333
	6.5433	47.7259	7.3269	47.7731	0.0472	0.7836	3.2650	4.0643	19.6667
PE1,5	6.5375	44.422	7.2874	44.4713	0.0493	0.7499	3.1246	3.9324	20.5417
	6.4033	47.2316	7.2108	47.2829	0.0513	0.8075	3.3646	4.2793	21.3750
	6.5305	46.4451	7.3393	46.4933	0.0482	0.8088	3.3700	4.2169	20.0833
PE3	6.4568	47.8684	7.3184	47.9221	0.0537	0.8616	3.5900	4.6248	22.3750
	6.5364	45.9638	7.4127	46.0167	0.0529	0.8763	3.6513	4.6836	22.0417
	6.5874	45.8565	7.5173	45.9102	0.0537	0.9299	3.8746	4.9914	22.3750
PU0	6.5422	45.8229	7.2813	45.8678	0.0449	0.7391	3.0796	3.7883	18.7083
	6.5244	45.7651	7.2414	45.8106	0.0455	0.7170	2.9875	3.6864	18.9583
	6.5335	50.6695	7.2725	50.7127	0.0432	0.7390	3.0792	3.7551	18.0000
PU1,5	6.5514	47.4894	7.3063	47.5356	0.0462	0.7549	3.1454	3.8953	19.2500
	6.5662	47.6727	7.3497	47.7194	0.0467	0.7835	3.2646	4.0533	19.4583
	6.5066	51.0282	7.275	51.0735	0.0453	0.7684	3.2017	3.9466	18.8750
PU3	6.5154	46.1744	7.2882	46.2261	0.0517	0.7728	3.2200	4.1041	21.5417
	6.5115	48.1462	7.3285	48.1966	0.0504	0.8170	3.4042	4.3091	21.0000
	6.538	46.1893	7.302	46.2411	0.0518	0.7640	3.1833	4.0595	21.5833

Masa	60°C								
	0.24								
	Peso tubo(g)	Peso placa(g)	Peso tubo+gel(g)	Peso sobrenadante +placa seco(g)	sobrenadante seco (g)	Gel(g)	CAA	PH	solubilidad(%)
PE0	6.4433	47.7685	9.7013	47.8277	0.0592	3.2580	13.5750	18.0199	24.6667
	6.4392	45.6078	9.6716	45.6677	0.0599	3.2324	13.4683	17.9478	24.9583
	6.5148	47.8654	10.0297	47.9254	0.0600	3.5149	14.6454	19.5272	25.0000
PE1,5	6.4416	47.6733	10.4269	47.7342	0.0609	3.9853	16.6054	22.2518	25.3750
	6.5091	51.1533	10.2736	51.2152	0.0619	3.7645	15.6854	21.1370	25.7917
	6.4879	45.5732	10.2598	45.6351	0.0619	3.7719	15.7163	21.1786	25.7917
PE3	6.4034	45.5665	10.6403	45.631	0.0645	4.2369	17.6538	24.1419	26.8750
	6.4034	35.9874	10.6986	36.0514	0.0640	4.2952	17.8967	24.4045	26.6667
	6.5283	45.7663	11.0048	45.8296	0.0633	4.4765	18.6521	25.3339	26.3750
PU0	6.5238	47.4035	9.7505	47.4569	0.0534	3.2267	13.4446	17.2921	22.2500
	6.3571	45.7818	9.4072	45.8382	0.0564	3.0501	12.7088	16.6127	23.5000
	6.5383	52.3676	9.8787	52.4225	0.0549	3.3404	13.9183	18.0465	22.8750
PU1,5	6.2996	51.1245	9.8457	51.1827	0.0582	3.5461	14.7754	19.5055	24.2500
	6.5311	47.6958	10.1831	47.7527	0.0569	3.6520	15.2167	19.9454	23.7083
	6.5304	49.1938	10.0641	49.2509	0.0571	3.5337	14.7238	19.3204	23.7917
PU3	6.514	46.275	10.4818	46.335	0.0600	3.9678	16.5325	22.0433	25.0000
	6.4381	48.1483	10.4935	48.208	0.0597	4.0554	16.8975	22.4925	24.8750
	6.5058	45.7939	10.4323	45.8543	0.0604	3.9265	16.3604	21.8625	25.1667

Masa	0.24	70°C							
	Peso tubo(g)	Peso placa(g)	Peso tubo+gel(g)	Peso sobrenadante +placa seco(g)	sobrenadante seco (g)	Gel(g)	CAA	PH	S(%)
PE0	6.5412	45.8233	10.5525	45.8864	0.0631	4.0113	16.7138	22.6755	26.2917
	6.4114	51.0303	10.1559	51.0941	0.0638	3.7445	15.6021	21.2514	26.5833
	6.2508	47.322	10.3721	47.3844	0.0624	4.1213	17.1721	23.2055	26.0000
PE1,5	6.4346	45.8593	10.6514	45.9239	0.0646	4.2168	17.5700	24.0410	26.9167
	6.5362	46.512	10.753	46.5755	0.0635	4.2168	17.5700	23.8912	26.4583
	6.4637	45.8768	10.5412	45.9415	0.0647	4.0775	16.9896	23.2601	26.9583
PE3	6.5313	46.7626	11.0168	46.8285	0.0659	4.4855	18.6896	25.7639	27.4583
	6.2882	46.1879	10.5827	46.2527	0.0648	4.2945	17.8938	24.5120	27.0000
	6.5231	46.9879	10.8437	47.0527	0.0648	4.3206	18.0025	24.6610	27.0000
PU0	6.5355	46.6603	9.8879	46.7203	0.0600	3.3524	13.9683	18.6244	25.0000
	6.3552	47.2555	9.5304	47.3167	0.0612	3.1752	13.2300	17.7584	25.5000
	6.4958	45.7123	9.6562	45.7726	0.0603	3.1604	13.1683	17.5871	25.1250
PU1,5	6.5048	47.4921	10.0216	47.5543	0.0622	3.5168	14.6533	19.7795	25.9167
	6.5235	46.4862	10.025	46.5485	0.0623	3.5015	14.5896	19.7046	25.9583
	6.5037	46.1759	9.9525	46.2383	0.0624	3.4488	14.3700	19.4189	26.0000
PU3	6.5349	45.8482	10.7936	45.913	0.0648	4.2587	17.7446	24.3076	27.0000
	6.5312	51.7772	10.509	51.842	0.0648	3.9778	16.5742	22.7043	27.0000
	6.5423	50.6722	10.5233	50.7367	0.0645	3.9810	16.5875	22.6838	26.8750

Masa	0.24	80°C							
		Peso tubo(g)	Peso placa(g)	Peso tubo+gel(g)	Peso sobrenadante +placa seco(g)	sobrenadante seco (g)	Gel(g)	CAA	PH
PE0	6.4944	44.4752	13.124	44.5461	0.0709	6.6296	27.6233	39.2052	29.5417
	6.503	47.7826	13.1705	47.8515	0.0689	6.6675	27.7813	38.9684	28.7083
	6.5512	45.867	13.467	45.9387	0.0717	6.9158	28.8158	41.0921	29.8750
PE1,5	6.5588	34.1127	13.5106	34.1877	0.0750	6.9518	28.9658	42.1321	31.2500
	6.519	46.5005	13.3958	46.5773	0.0768	6.8768	28.6533	42.1373	32.0000
	6.5309	47.454	13.6434	47.53	0.0760	7.1125	29.6354	43.3689	31.6667
PE3	6.4539	47.3423	13.6526	47.4231	0.0808	7.1987	29.9946	45.2180	33.6667
	6.5044	46.3476	13.9089	46.4268	0.0792	7.4045	30.8521	46.0479	33.0000
	6.5144	48.4628	13.776	48.5423	0.0795	7.2616	30.2567	45.2436	33.1250
PU0	6.2501	48.4065	12.1465	48.4748	0.0683	5.8964	24.5683	34.3413	28.4583
	6.4203	44.7576	12.1224	44.8271	0.0695	5.7021	23.7588	33.4434	28.9583
	6.464	37.4698	12.3757	37.5366	0.0668	5.9117	24.6321	34.1322	27.8333
PU1,5	6.2935	48.0376	12.2903	48.1072	0.0696	5.9968	24.9867	35.1925	29.0000
	6.4657	48.6178	12.4719	48.6874	0.0696	6.0062	25.0258	35.2477	29.0000
	6.5148	47.6824	12.6665	47.7541	0.0717	6.1517	25.6321	36.5520	29.8750
PU3	6.5148	45.7378	13.1514	45.816	0.0782	6.6366	27.6525	41.0173	32.5833
	6.4949	47.4459	13.0852	47.5227	0.0768	6.5903	27.4596	40.3817	32.0000
	6.4905	47.6026	12.968	47.6818	0.0792	6.4775	26.9896	40.2830	33.0000

Masa	0.24	90°C							
	Peso tubo(g)	Peso placa(g)	Peso tubo+gel(g)	Peso sobrenadante +placa seco(g)	sobrenadante seco (g)	Gel(g)	CAA	PH	S(%)
PE0	6.4227	47.4006	14.9882	47.4941	0.0935	8.5655	35.6896	58.4676	38.9583
	6.4023	45.9651	15.4124	46.059	0.0939	9.0101	37.5421	61.6708	39.1250
	6.5018	45.7818	14.9592	45.8741	0.0923	8.4574	35.2392	57.2607	38.4583
PE1.5	6.4339	51.1224	16.1006	51.2241	0.1017	9.6667	40.2779	69.8966	42.3750
	6.5114	48.1461	16.7653	48.2486	0.1025	10.2539	42.7246	74.5738	42.7083
	6.5053	45.766	16.2637	45.8697	0.1037	9.7584	40.6600	71.5950	43.2083
PE3	6.4244	47.8693	18.0012	47.979	0.1097	11.5768	48.2367	88.8473	45.7083
	6.4972	46.2743	17.968	46.3829	0.1086	11.4708	47.7950	87.2968	45.2500
	6.5147	44.7574	17.8533	44.8691	0.1117	11.3386	47.2442	88.3757	46.5417
PU0	6.5375	47.8616	14.964	47.9493	0.0877	8.4265	35.1104	55.3283	36.5417
	6.3494	48.4076	14.7045	48.4977	0.0901	8.3551	34.8129	55.7378	37.5417
	6.4975	49.1865	14.9556	49.2743	0.0878	8.4581	35.2421	55.5723	36.5833
PU1.5	6.3015	35.9843	15.558	36.0783	0.0940	9.2565	38.5688	63.4007	39.1667
	6.5314	45.5688	15.5482	45.6611	0.0923	9.0168	37.5700	61.0481	38.4583
	6.5226	45.6119	15.7994	45.7068	0.0949	9.2768	38.6533	63.9338	39.5417
PU3	6.5349	52.3667	16.1917	52.4704	0.1037	9.6568	40.2367	70.8496	43.2083
	6.4599	47.7671	16.6254	47.8706	0.1035	10.1655	42.3563	74.4725	43.1250
	6.5312	45.7936	16.4491	45.8961	0.1025	9.9179	41.3246	72.1302	42.7083

### Anexo 53. Matriz de consistencia

Formulación de problema	Objetivos	Hipótesis	Propiedades	Variables	Instrumento de medición
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>			
¿Cómo serán las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) modificados por esterificación?	Evaluar las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) modificados por esterificación.	Las propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales del almidón nativo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) mejorará con la modificación por esterificación.			
<b>Problema específico 1</b>	<b>Objetivo específico</b>	<b>Hipótesis específico 1</b>			
¿Cómo será las propiedades físicas de almidones de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) modificados por esterificación?	Evaluar las propiedades físicas de almidones de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) modificados por esterificación.	Las propiedades físicas de almidones nativos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) mejorará con la modificación por esterificación.	Propiedades físicas	Color Humedad Actividad de agua Tamaño de partícula	Colorímetro Estufa Medidor de AW Mastersizer
<b>Problema específico 2</b>	<b>Objetivo específico2</b>	<b>Hipótesis específico 2</b>			
¿Cómo será las propiedades químicas de almidones de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) modificados por esterificación?	Evaluar las propiedades químicas de almidones de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) modificados por esterificación.	Las propiedades químicas de almidones nativos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) mejorará con la modificación por esterificación.	Propiedades Químicas	Grupos funcionales pH Amilosa y amilopectina Grado de sustitución	FTIR pH-metro Espectrofotómetro Bureta, pH-metro
<b>Problema específico 3</b>	<b>Objetivo específico 3</b>	<b>Hipótesis específico 3</b>			
¿Cómo será las propiedades tecnofuncionales de almidones de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) modificados por esterificación?	Evaluar las propiedades tecnofuncionales de almidones de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) modificados por esterificación.	Las propiedades tecnofuncionales de almidones nativos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) mejorará con la modificación por esterificación.	Propiedades tecnofuncionales	T° gelatinización Sinéresis PH CAA Solubilidad Potencial zeta	Termómetro Centrifuga, refrigeradora Centrifuga, baño maría Centrifuga, baño maría Centrifuga, baño maría Zetasizer