



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS, FUNCIONALES Y REOLÓGICAS DEL
ALMIDÓN NATIVO Y PREGELATINIZADO DE DOS
VARIEDADES DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) DE LA
REGIÓN DE PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

JESUS MIRIAM CUTIPA QUINCHO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO – PERÚ

2024



JESUS MIRIAM CUTIPA QUINCHO

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, FUNCIONALES Y REOLÓGICAS DEL ALMIDÓN NATIVO Y PRE...

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:418713704

Fecha de entrega

24 dic 2024, 5:52 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

24 dic 2024, 5:57 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

JESUS MIRIAM CUTIPA QUINCHO- BORRADOR FINAL 1. 2024-2025 FINAL 27 de diciembre 2024.pdf

Tamaño de archivo

3.0 MB

148 Páginas

31,073 Palabras

159,706 Caracteres





13% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 12% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

César Paul Laqti Vilca
INGENIERO AGRICULTOR
CIP 0790

Dr. Ulises Alvarado Mamani





DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, por su amor, apoyo incondicional y aliento en todo momento. Gracias por ser mi motivo, mi fuente de inspiración y por enseñarme a perseguir mis sueños con pasión y valentía, trabajando honestamente y dando todo de uno mismo en todo aspecto, manteniendo la humildad, la empatía y el respeto. Este logro no habría sido posible sin su constante apoyo y confianza en mí.

Jesus Miriam Cutipa Quincho.



AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera en la realización de esta tesis.

En primer lugar, a Dios y a la Universidad Nacional del altiplano, Faculta Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por su formación profesional.

Agradecer a mi director/asesor de tesis, M.Sc. César Paul Laqui Vilca por su infinita paciencia, comprensión, apoyo y confianza en mí, a lo largo de todo el proceso de investigación. Sus sugerencias puntuales y comentarios acertados han sido fundamentales para lograr los objetivos propuestos.

También quiero agradecer a mis jurados D.Sc. Saire Roenfi Guerra Lima, D.Sc. Rosario Edely Ortega Barriga y Dra. Marienela Calsin Cutimbo por permitirme dar un paso más en el ámbito profesional.

También agradezco a la Lic. Mary Coila Pari y al Téc. Pablo Condori Silva, por su entera disposición, interés, apoyo y confianza.

Jesus Miriam Cutipa Quincho



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.1.1. Objetivo General	19
1.1.2. Objetivos específicos.....	19
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES	20
2.2. MASHUA (<i>Tropaeolum tuberosum</i>).....	21
2.2.1. Nombres comunes.....	23
2.2.2. Taxonomía de la mashua.....	23
2.2.3. Variedades de mashua	24
2.2.3.1. Mashua variedad negra	25
2.2.3.2. Mashua variedad amarilla	25



2.3.	ALMIDÓN	25
2.3.1.	Estructura del almidón.....	27
2.3.1.1.	La amilosa	27
2.3.1.2.	La amilopectina.....	28
2.4.	MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN	29
2.4.1.	Almidones pregelatinizados.....	31
2.5.	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN	34
2.5.1.	El tamaño de partícula del almidón.....	34
2.5.2.	Rendimiento de extracción (%).....	35
2.5.3.	Contenido de amilosa/amilopectina	35
2.5.4.	Composición proximal	36
2.6.	PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN	37
2.6.1.	Capacidad de absorción de agua.....	38
2.6.2.	Índice de solubilidad de agua.....	39
2.6.3.	Poder de hinchamiento	39
2.7.	PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ALMIDÓN	40
2.7.1.	Viscosidad.....	41
2.7.2.	Clasificación reológica	43
2.7.2.1.	Fluidos newtonianos	43
2.7.2.2.	Fluidos no newtonianos	44
2.7.3.	Constantes reológicas	46

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	LUGARES DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO	47
3.2.	MATERIA PRIMA	47



3.3. EQUIPOS Y MATERIALES	48
3.3.1. Equipos.....	48
3.3.2. Materiales.....	49
3.3.3. Reactivos.....	50
3.3.4. Software	51
3.4. FACTORES DE ESTUDIO Y RESPUESTA.....	51
3.4.1. Factores de estudio.....	51
3.4.2. Factores de respuesta para el primer objetivo.....	51
3.4.3. Factores de respuesta para el segundo objetivo.....	51
3.4.4. Factores de respuesta para el tercer objetivo.....	52
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	53
3.5.1. Obtención del almidón nativo de mashua	54
3.5.2. Obtención del almidón pregelatinizado de mashua.....	56
3.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	58
3.6.1. Propiedades físicas y funcionales.....	58
3.6.1.1. Distribución de Tamaño de Partícula (DTP).....	58
3.6.1.2. Poder de hinchamiento (PH), Índice de solubilidad en agua (ISA) y Capacidad de absorción de agua (CAA).....	59
3.6.2. Propiedades químicas	60
3.6.2.1. Contenido de amilosa/amilopectina:	60
3.6.2.2. Composición proximal.....	61
3.6.3. Propiedades reológicas	64
3.6.3.1. Viscosidad.....	64
3.6.3.2. Determinación de las constantes reológicas.....	64
3.7. MÉTODO DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	67



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de propiedades físicas y funcionales	68
4.1.1. Evaluación de distribución de tamaño de partícula (DTP).....	68
4.1.2. Caracterización del rendimiento de extracción.....	73
4.1.3. Evaluación de las propiedades funcionales.....	76
4.2. Análisis de propiedades químicas.....	87
4.2.1. Caracterización del contenido de amilosa y amilopectina.....	87
4.2.2. Caracterización de la composición proximal	92
4.3. Análisis de propiedades reológicas	96
4.3.1. Determinación de las constantes reológicas	96
4.3.2. Comportamiento de flujo	100
V. CONCLUSIONES.....	104
VI. RECOMENDACIONES	105
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
ANEXOS.....	113

ÁREA : Ingeniería y Tecnología.

TEMA: Propiedades físicas y estructurales.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27 de diciembre del 2024.



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Composición proximal de la mashua en 100 gramos de porción comestible..... 37
Tabla 2	Codificación de los tratamientos evaluados 56
Tabla 3	Factor de conversión para la transformación de viscosidad a porcentaje de torque en función de la velocidad de rotación..... 65
Tabla 4	Factores de conversión para los husillos de los viscosímetros Brookfield (bajo condiciones estándar de medición). 66
Tabla 5	Distribución del tamaño de partícula del almidón nativo y los tratamientos de almidones pregelatinizados de mashua de la variedad amarilla. 69
Tabla 6	Distribución del tamaño de partícula del almidón nativo y los tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua de la variedad negra..... 70
Tabla 7	Porcentaje de rendimiento de los almidones nativos y los tratamientos de almidones pregelatinizados de mashua amarilla y negra..... 73
Tabla 8	Resultados de Capacidad de Absorción de Agua del almidón nativo y para tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua amarilla. 88
Tabla 9	Resultados de Capacidad de Absorción de Agua del almidón nativo y para tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua negra. 92
Tabla 10	Resultados de Índice de Solubilidad de Agua del almidón nativo y para tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua amarilla..... 76
Tabla 11	Resultados de Índice de Solubilidad de Agua del almidón nativo y para tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua negra. 77
Tabla 12	Resultados de Poder de Hinchamiento del almidón nativo y para tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua amarilla. 78



Tabla 13	Resultados de Poder de Hinchamiento del almidón nativo y para tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua negra.	79
Tabla 14	Contenido de amilosa y amilopectina de los almidones nativos y pregelatinizados de dos variedades de mashua.....	80
Tabla 15	Composición proximal de almidones nativos y pregelatinizados de dos variedades de mashua.	81
Tabla 16	Valores de las constantes del modelo Mitschka para almidones nativos y pregelatinizados a una concentración de 5 % y temperaturas de 25 °C y 60 °C.....	100



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Cultivos de diferentes variedades de mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>).....	22
Figura 2 Variedades de mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>).....	24
Figura 3 Esquema de la amilosa.....	28
Figura 4 Esquema de la amilopectina.....	29
Figura 5 Viscosidad aparente en fluidos independientes del tiempo.....	45
Figura 6 Reo-grama en fluidos independientes del tiempo.....	46
Figura 7 Esquema experimental para la investigación de las propiedades físicas, funcionales, químicas y reológicas a partir del almidón nativo y tratamientos de almidones pregelatinizado de dos variedades de mashua de la región de Puno.	54
Figura 8 Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón nativo de mashua.	54
Figura 9 Diagrama de flujo del proceso de extracción del almidón pregelatinizado de mashua.	57
Figura 10 Interacciones entre tratamientos del rendimiento de almidones nativos y pregelatinizados de dos variedades de mashua amarilla y negra.....	74
Figura 11 Medias marginales estimadas del rendimiento de almidón de mashua amarilla.	74
Figura 12 Medias marginales estimadas del rendimiento de almidón de mashua negra.	75
Figura 13 Comportamiento de la capacidad de absorción de agua (CAA) del almidón nativo y de los almidones pregelatinizados de mashua amarilla, evaluados de 45 °C a 75 °C.	83
Figura 14 Comportamiento de la capacidad de absorción de agua (CAA) del almidón nativo y de los almidones pregelatinizados de mashua negra, evaluados de 45 °C a 75 °C.....	83



Figura 15	Comportamiento del índice de solubilidad de agua (ISA) del almidón nativo y de los almidones pregelatinizados de mashua amarilla, evaluados de 45°C a 75°C.....	84
Figura 16	Comportamiento del índice de solubilidad de agua (ISA) del almidón nativo y de los almidones pregelatinizados de mashua negra, evaluados de 45 °C a 75 °C.	84
Figura 17	Comportamiento del poder de hinchamiento (PH) del almidón nativo y de los almidones pregelatinizados de mashua amarilla, evaluados de 45 °C a 75 °C.	85
Figura 18	Comportamiento del poder de hinchamiento (PH) del almidón nativo y de los almidones pregelatinizados de mashua negra, evaluados de 45 °C a 75 °C.	85
Figura 19	Determinación de parámetros reológicos de los almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla y negra a 60 °C, modelo Mitschka.....	102
Figura 20	Determinación de parámetros reológicos de los almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla y negra a 25 °C, modelo Mitschka.....	102
Figura 21	Viscosidad en función de la velocidad de deformación de los almidones nativo y pregelatinizado de mashua amarilla y negra, evaluadas al 5 % de concentración a 60 °C.....	97
Figura 22	Viscosidad en función de la velocidad de deformación de los almidones nativo y pregelatinizado de mashua amarilla y negra, evaluadas al 5 % de concentración a 25 °C.....	97



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Análisis estadístico de determinación de tamaño de partícula de almidones de mashua amarilla.....	113
ANEXO 2. Análisis estadístico de determinación de tamaño de partícula de almidones	116
ANEXO 3. Análisis estadístico de determinación de rendimiento de almidones de mashua amarilla y negra.	119
ANEXO 4. Análisis estadístico de determinación de amilosa y amilopectina de almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla y negra.	120
ANEXO 5. Análisis estadístico multivariante de composición proximal de almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla y negra.....	122
ANEXO 6. Análisis estadístico de determinación de CAA, ISA y PH de almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla.	124
ANEXO 7. Análisis estadístico de determinación de CAA, ISA y PH de almidones nativos y pregelatinizados de mashua negra.....	131
ANEXO 8. Análisis estadístico de determinación de viscosidad, índice de comportamiento de flujo e índice de consistencia de almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla y negra.	138
ANEXO 9. Fotografías del proceso de ejecución.....	141



ACRÓNIMOS

AN:	Almidón nativo.
APG:	Almidón pregelatinizado.
T:	Tratamiento.
AN - A:	Almidón nativo amarillo.
AN - N:	Almidón nativo negro.
APG - A:	Almidón pregelatinizado amarillo.
APG - N:	Almidón pregelatinizado negro.
CAA:	Capacidad de absorción de agua.
ISA:	Índice de solubilidad de agua.
PH:	Poder de hinchamiento.
DTP:	Distribución de tamaño de partícula.
μ :	Viscosidad.
$\dot{\gamma}$:	velocidad de deformación.
τ :	Esfuerzo de corte.
K:	índice de consistencia.
n:	Índice de comportamiento de flujo.
T:	Tratamiento.
%:	Porcentaje.
°C:	Grados Celsius.
μm :	Micrómetro.
mg:	Miligramo.
g:	Gramo.
rpm:	Revoluciones por minuto.
nm:	nanómetros.



RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se analizaron almidones nativos y tratamientos de almidones pregelatinizados de mashua amarilla y negra, con el objetivo de caracterizar las propiedades fisicoquímicas, funcionales y reológicas. Se caracterizaron propiedades físicas de determinación de tamaño de partículas (DTP) y rendimiento; se evaluaron propiedades funcionales de capacidad de absorción de agua (CAA), índice de solubilidad de agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH). También se caracterizaron propiedades químicas de amilosa/amilopectina, humedad, cenizas, grasa y proteínas. Respecto a las propiedades reológicas se evaluó el comportamiento de flujo y las constantes n y K . Para el análisis se aplicó ANOVA para DCA y Tukey ($p < 0,05$). Los resultados de DTP mostraron un tamaño $< 75 \mu\text{m}$. El rendimiento fue de 4,22 % (amarillo) y 2,88 % (negro). En las propiedades funcionales, T5 mostró valores altos de CAA con 21,96 g gel/g (amarillo) y 24,91 g gel/g (negro). En ISA, T5 mantuvo valores moderadamente bajos y constantes, similares al almidón nativo. Para el PH T5 presentó valores de 38,19 g/g (amarillo) y 47,91 g/g (negro). Respecto a las propiedades químicas, la amilosa fue de 33,05 % (amarillo), 31,70 % (negro), 34,62 % (T5 amarillo) y 34,69 % (T5 negro). Se obtuvo humedades entre 11,60 % – 12,22 %, cenizas entre 0,47 % – 0,71 %, grasa entre 0,21 % - 1,96 % y proteínas entre 0,30 % - 0,36 %. En las propiedades reológicas, la viscosidad del gel disminuye al aumentar la velocidad de deformación. En conclusión, los almidones presentan partículas menores a $75 \mu\text{m}$. La mashua amarilla mostró mayor rendimiento y contenido de amilosa. En propiedades funcionales, el tratamiento T5 exhibió alta CAA y PH, y bajo ISA, similar al almidón nativo. Los análisis reológicos presentaron un comportamiento pseudoplástico en los geles de almidón.

Palabras Clave: Almidón, mashua, pregelatinizado, viscosímetro y reología.



ABSTRACT

In the present research, In this research, native starches and pregelatinized starch treatments from yellow and black mashua were analyzed to characterize their physicochemical, functional, and rheological properties. Physical properties such as particle size determination (PSD) and yield were measured; functional properties such as water absorption capacity (WAC), water solubility index (WSI), and swelling power (SP) were evaluated. Additionally, chemical properties including amylose/amylopectin content, moisture, ash, fat, and protein were characterized. Regarding rheological properties, flow behavior and the constants n and K were analyzed. ANOVA for a completely randomized design and Tukey's test ($P < 0.05$) were applied for the analysis. The PSD results showed particles smaller than 75 μm . The yield was 4.22% (yellow) and 2.88% (black). For functional properties, T5 exhibited high WAC values of 21.96 g gel/g (yellow) and 24.91 g gel/g (black). In terms of WSI, T5 maintained moderately low and constant values, similar to the native starch. For SP, T5 presented values of 38.19 g/g (yellow) and 47.91 g/g (black). Regarding chemical properties, the amylose content was 33.05% (yellow), 31.70% (black), 34.62% (T5 yellow), and 34.69% (T5 black). Moisture ranged from 11.60% to 12.22%, ash from 0.47% to 0.71%, fat from 0.21% to 1.96%, and protein from 0.30% to 0.36%. For rheological properties, gel viscosity decreased with increasing shear rate. In conclusión, the starches presented particles smaller than 75 μm . Yellow mashua showed higher yield and amylose content. For functional properties, treatment T5 exhibited high WAC and SP, and low WSI, similar to native starch. Rheological analyses revealed pseudoplastic behavior in the starch gels.

Keywords: Starch, mashua, pregelatinized, viscometer, rheology.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El almidón es materia prima muy utilizada en la preparación y fabricación de numerosos productos (Arteaga et al., 2022; Hermosa, 2013), pero en su forma nativa es insoluble en agua fría (Manrique, 2006) y tiene poca aplicación debido a su baja solubilidad de disolventes orgánicos comunes que limitan su proceso en la industria alimentaria (Glorio Paulet et al., 2009; Bello Pérez et al., 2002; Martínez, 2002; Pacheco, 2019), también debido a la carencia de ciertas propiedades funcionales (Sigala, 2019), asimismo, su estructura puede ser poco eficiente, a ciertas condiciones en los procesos tecnológicos (Glorio Paulet et al., 2009; Bello Pérez et al., 2002). Mientras que, los almidones pregelatinizados mejoran sus propiedades funcionales, según su origen, por lo cual a nivel de investigación se ha ido desarrollando métodos para modificar almidones (Manrique, 2006; Sigala, 2019).

La mashua, es un tubérculo autóctono con gran potencial, sigue siendo poco conocido y escasamente aprovechada como recurso alimentario (Quispe, 2018). A pesar de su riqueza en propiedades, carece de aplicaciones industriales alternativas (Grau, 2003) y su comercialización es limitada (Yungán, 2015). La caracterización integral del almidón de mashua sigue siendo limitada, tanto en su estado nativo como pregelatinizado, en consecuencia, restringe su industrialización. En este contexto Velásquez & Velezmoro (2018), enfatizan la importancia de caracterizar el almidón en su forma nativa antes de realizar modificaciones en los almidones.

Por otro lado, en la región de Puno, la mashua amarilla es la más estudiada y cultivada, mientras que la negra y otras variedades han recibido poca atención. Su uso sigue siendo limitado por la falta de investigaciones sobre sus propiedades físicas,



químicas, funcionales y reológicas. Una caracterización integral del almidón de mashua es esencial para desarrollar productos innovadores, optimizar procesos industriales y revalorizar este recurso, impulsando el desarrollo económico local.

Por todo lo expuesto con esta investigación no solo se busca llenar vacíos de conocimiento científico sobre cultivos subutilizados, sino también ofrecer soluciones prácticas y promover el uso del almidón nativo y pregelatinizado de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en aplicaciones industriales, contribuyendo al desarrollo sostenible de la región de Puno y diversificando los mercados en torno a este recurso nativo, en ese sentido nos planteamos lo siguiente:

1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. Objetivo General

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas, funcionales y reológicas del almidón nativo y pregelatinizado de dos variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) de la región de Puno.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades físicas y funcionales del almidón nativo y pregelatinizado de dos variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*).
- Caracterizar las propiedades químicas del almidón nativo y pregelatinizado de dos variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*).
- Evaluar las propiedades reológicas del almidón nativo y pregelatinizado de dos variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*).



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Quispe (2018), investigó las características químicas y funcionales del almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) de las variedades amarilla y negra. Su estudio comparó el contenido de amilosa y amilopectina, la temperatura de gelatinización, la capacidad de absorción de agua, el índice de solubilidad en agua, el poder de hinchamiento y las propiedades de pasta. Los resultados mostraron que ambos tipos de almidón poseen bajo contenido de amilosa, se gelatinizan rápidamente, presentan alto poder de hinchamiento, elevada solubilidad en agua y viscosidad, poco estables durante la cocción bajo agitación o acción mecánica.

Velásquez & Velezmoro (2018), estudiaron las propiedades fisicoquímicas, reológicas y viscoelásticas de los almidones de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*) y olluco (*Ullucus tuberosum*). Encontraron que las pastas de estos almidones exhiben comportamiento tixotrópico y pseudoplástico ($n < 1$). Además, las pastas presentaron una predominancia del comportamiento elástico sobre el viscoso. El almidón de mashua mostró la mayor viscosidad compleja y aparente en comparación con los otros almidones.

Puente (2016), investigó la pregelatinización hidrotérmica del grano de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) para producir un alimento precocido. Evaluó los factores de humedad (30% y 40%), temperatura de autoclavado (80 °C, 100 °C y 120 °C) y tiempo de autoclavado (4 y 8 minutos) mediante un diseño factorial con 12 tratamientos. Analizó variables cuantitativas (peso, densidad, CAA, ISA, PH, rendimiento y azúcares



reductores) y cualitativas (color, olor, sabor, textura y aceptabilidad). Los tratamientos óptimos fueron T12 (40% humedad, 120 °C, 8 min) y T11 (30% humedad, 120 °C, 8 min), aunque con una reducción en la digestibilidad de la proteína.

Suárez et al. (2016), compararon dos métodos, extrusión y autoclave, para producir almidón resistente a partir de almidón de maíz nativo hidrolizado con ácidos cítrico, fosfórico y clorhídrico (2 N). La extrusión se realizó a temperaturas de 90, 100 y 110 °C, con una velocidad de 220 rpm y 22 % de humedad, seguido de almacenamiento a 4 °C por 120 horas. El proceso de autoclave consistió en calentamiento a 121 °C y enfriamiento en 3 ciclos durante 72 h. El mayor contenido de almidón resistente (13,160 mg AR/100 g) se logró con el almidón hidrolizado con ácido clorhídrico y procesado mediante autoclave.

Martínez (2002), estudió el comportamiento reológico de sopas crema de arvejas y lentejas con el fin de establecer especificaciones para el control de calidad. Utilizó el viscosímetro con un sistema termorregulado a 60 ± 1 °C. El estudio determinó que las muestras presentaron comportamiento pseudoplástico. A través del método de Mitschka, se calcularon el esfuerzo de corte y la relación de deformación, obteniendo por regresión las constantes reológicas K (coeficiente de consistencia) y n (índice de comportamiento). Se validó el método usando husillos R5, R6 y R7. Los promedios de K y n a 60 ± 1 °C fueron $22,38 \pm 6,87$ Pa·sⁿ y $0,42 \pm 0,06$, respectivamente.

2.2. MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*)

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*), es un tubérculo nativo de los andes fríos y templados (Grau, 2003; Quispe, 2018). Actualmente, la mashua se produce en los valles de Ancash, Apurímac, Ayacucho, Huánuco, Puno y Junín (Arteaga et al., 2022), se cultiva junto a otros tubérculos, siendo su siembra mucho menor a estas, sin embargo, su cultivo

no deja de ser importante. La mashua se caracteriza por ser resistente a las elevadas temperaturas de congelación, factible de ser cultivada en suelos pobres, no necesita fertilizantes ni pesticidas, tiene un buen rendimiento de cosecha y actúa como repelente contra insectos y otros patógenos (Huamani, 2014; Quispe, 2018).

La mashua presenta una diversidad en morfología y color, es un producto andino con grandes beneficios para la salud y alto valor nutricional, presenta un balance apropiado de aminoácidos esenciales, rico en carotenoides vitaminas A, B y C, alto contenido de proteínas, carbohidratos aproximadamente 11 %, fibra y calorías (Salazar, 2014). Su principal componente son los glucocianatos, los cuales le confieren atributos medicinales, tiene un sabor ocre y picante debido a la presencia de isotiocianatos. Además, la mashua presenta un alto contenido de almidón y es una fuente importante de actividad antioxidante (Arteaga et al., 2022). A pesar de esto es considerado como un tubérculo marginado, menos difundido, sobrellevando un alto grado de pérdida de su diversidad genética y considerado también como un alimento de consumo temporal (Laura & Torres, 2018; Quispe, 2018).

Figura 1

Cultivos de diferentes variedades de mashua (Tropaeolum tuberosum).



Fuente: Arteaga et al. (2022).



2.2.1. Nombres comunes

De acuerdo a Grau (2003), la mashua se nombra según el idioma, región y/o nacionalidad, como: En Perú, se denomina como Allausu, Mashua, Mishua, y en el idioma quechua: aña, Apiñamama. En Bolivia, en el idioma quechua se le conoce como: Apilla, Ocaquisañu y en el idioma aymara, como: isaño. En Portugal, como: Capuchinha tuberosa. En Francia, como: Capucine tubéreuse. En Colombia, como: Cubios, Navios, Guambiano, Pane, Puel. En Ecuador, como: Majua, Mashua, Maxua. En Germany, como: Peruanische, Knollenkresse. En Southem, como: Puel. En Argentina, como: Sisaño. En italiano, como: Tropeolo del Perú y en United Kingdom, como: Tuber nasturtium.

Según Hermosa (2013), indica que los diferentes nombres comunes en otros países, son: Mashua (Perú, Ecuador), isaño, aña (Perú, Bolivia), maswallo, mazuko, mascho (Perú), cubio, navo, navios (Colombia).

Según Laura & Torres (2018), en Perú la mashua presenta nombres comunes según el idioma quechua, como: Anu, Apiña, Apina-Mama, isaño, mashua, mashwa; según el idioma español, como: Anu, Anyu, isano, Mafua, Majua, Mashua, Mashuar, Mauja, Mashwa, Maswallo, Maxua, Mazuko; según el idioma aymara, como: Allausu, isaño, Kkayacha.

2.2.2. Taxonomía de la mashua

Varios investigadores (Aguado, 2017; Chávez & Mosquera, 2018; Gómez, 2020; Hermosa, 2013; Idme, 2010; Laura & Torres, 2018; Velásquez, 2019) indican que, la taxonomía de la mashua es la siguiente:

Reino: Plantae, Vegetal

División: Magnoliophyta, Espermatofita

Clase: Magnoliopsida, Dicotiledoneas

Orden: Dicotylas

Familia: Geraniaceae

Especie: *Tropaeolum*

2.2.3. Variedades de mashua

Existe más de 100 variedades de mashua las cuales se registran por el color (Paucar, 2014), en la actualidad no existen estudios profundos sobre la variación de (*Tropaeolum tuberosum*), según Aguado (2017) y Gómez (2020) mencionan que, los clones y/o eco tipos de mashua lo diferencian de acuerdo al color del tubérculo en idioma quechua, por ejemplo, Occe año de color Plomizo, Yana año de color negruzco, Puca año de color Rojizo, Murua año de color Morado, Chhecce año de color Gris, Zapallo de color amarillo y el Yurac año de color Blanco.

Figura 2

Variedades de mashua (Tropaeolum tuberosum), según su color.



La FAO y la Asociación Nacional de Productores Ecológicos (2007) citados por Paucar (2014), refieren dos variaciones de mashua.



- T. tuberosum var. Pilifer, de tubérculos blancos, delgados, de ápice violáceo y ojos o yemas provistos de pelos delgados, procedentes de Colombia.
- T. tuberosum var. Lineomaculata, de tubérculos profusamente manchados de líneas coloreadas, cultivados sobre todo en Perú y Bolivia.

Fuente: Aguado (2017); Paucar (2014); Grau (2003).

De acuerdo a Quispe (2018), menciona que la variedad es la subdivisión de la especie con leves diferencias, mostrando una gama notablemente de colores y calificativos en nombres referidos ellos, así como a sus atributos y forma.

2.2.3.1. Mashua variedad negra

Quispe (2018), indica que la mashua de variedad negra es de color purpura grisáceo, con pulpa de color naranja amarillento y purpura, de forma cilíndrica fusiforme con ojos profundos.

2.2.3.2. Mashua variedad amarilla

Esta variedad de mashua es de color amarillo y el color secundario es rojo distribuido en forma de bandas irregulares, con pulpa de color amarillo, de forma cónica con ojos profundos (Quispe, 2018).

2.3. ALMIDÓN

Es la principal fuente de carbohidratos en la dieta humana, proporciona el 70 % a 80 % de las calorías consumidas por las personas, es una reserva alimenticia predominante en las plantas, cereales, frutos inmaduros y tubérculos, se presenta como complejas partículas discretas o gránulos (Quispe, 2018), sin embargo, se ha ido aislando almidones de fuentes vegetales debido a la carencia de ciertas características para procesos dentro de la industria alimentaria. Cada especie presenta ciertas características, donde la morfología, la composición química y su estructura supramolecular (arreglo



relativo de las moléculas en estado sólido) son características propias del gránulo de almidón. Por otro lado, también la variación morfológica y la composición química en los gránulos de almidón son propiedades que afectan en las propiedades funcionales como en su susceptibilidad al ataque enzimático (Velásquez, 2019).

Los gránulos de almidón se forman en los amiloplastos, pueden ser simples o compuestos, con capas concéntricas o excéntricas de densidad variable. El 70 % de los gránulos de almidón son amorfas y semicristalinas, estas regiones amorfas contienen la cantidad principal de amilopectina, pero también una parte considerable de la amilosa, el 30 % de las regiones son cristalinas y consisten principalmente en amilopectina (Chen et al., 1998 citado por Quispe, 2018), esta región cristalina está formada por cadenas de racimos de la amilopectina mientras que la región amorfa está formada por puntos ramificados de la amilopectina y amilosa (Manrique, 2006).

Según Badui (2003) citado por Quispe (2018) el almidón se encuentra en cereales, tubérculos, algunas verduras y frutas como polisacáridos de reserva energética, su concentración es según el estado de madurez, las leguminosas (frijol. Haba) contiene entre el 25 % a 50 % de almidón; cereales (maíz, arroz y trigo) con un 30 % a 80 %; los tubérculos (papa y yuca) con un 60 % a 90%; algunas frutas mango y plátano en estado inmaduro presentan hasta un 70 % de almidón en base seca (Bello et al 1999 citado por Manrique, 2006) a nivel mundial la producción de almidón el 83 % es obtenido de maíz, con 7 % el trigo, con 6 % de papa (Bustincio, 2014).

Además de poseer características físicas y químicas únicas y debido a sus propiedades funcionales son determinantes en la calidad del producto final (Grados & Gutiérrez, 2010). Así mismo el almidón tiene un gran potencial para varias aplicaciones materiales como papel, bioplásticos, biodiesel, agente espesante, estabilizador coloidal,



agente gelificante, formador de pastas o adhesivos por su biodegradabilidad y sus buenas propiedades funcionales (Velásquez, 2019).

2.3.1. Estructura del almidón

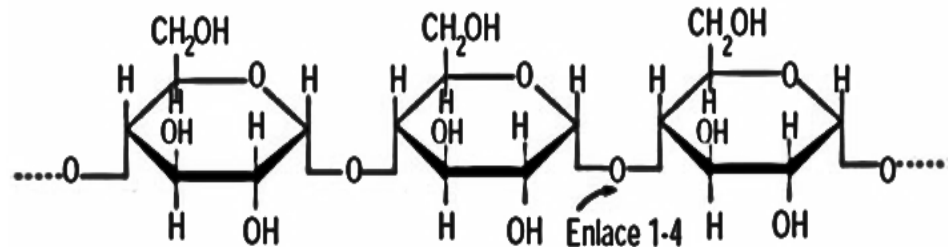
El almidón está compuesto por dos polisacáridos: amilosa y amilopectina, su proporción varía según su fuente, la relación de estos componentes son factores clave en la determinación de las propiedades físicas, químicas y funcionales del almidón.

2.3.1.1. La amilosa

Se encuentra en menor proporción 20 % a 30 % (Velásquez, 2019), es una molécula de forma lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α -D-(1-4), pero en algunos almidones también se ha reportado algunos enlaces ramificados α (1-6) (Manrique, 2006). La amilosa presenta diferentes tamaños y estructura que es dependiente de su origen y fuente botánica (Velásquez, 2019). Pero generalmente se encuentra entre 1000 unidades de glucosa por molécula de amilosa y tiene forma de espiral. En un extremo de la macromolécula la unidad de glucosa contiene el hidroxilo del carbono anomérico libre, por lo cual se llama extremo reductor, mientras que, en el extremo opuesto, o no reductor, el hidroxilo del carbono anomérico forma parte del enlace glucosídico (Figura 3).

Figura 3

Esquema de la amilosa



Fuente: Tapia et al. (2007).

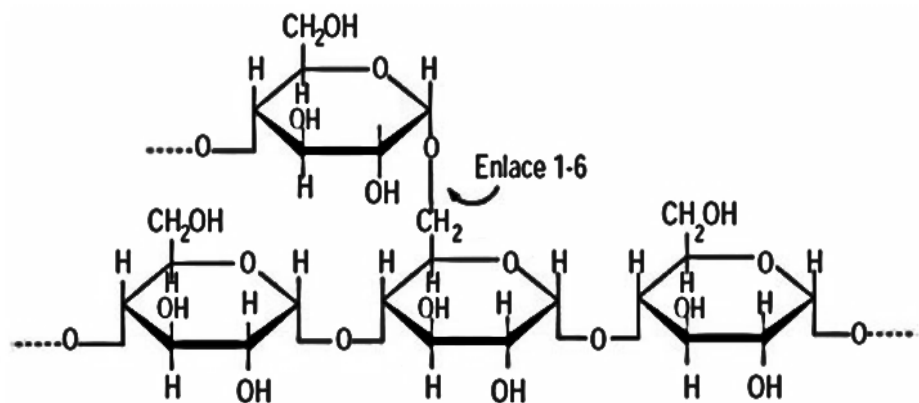
La amilosa se caracteriza por otorgarle al polímero la propiedad hidrofílica, No obstante, debido a su estructura lineal, los polímeros de la amilosa tienden a alinearse en paralelo, formando enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de polímeros adyacentes, lo que disminuye su afinidad por el agua. En soluciones diluidas, los polímeros pueden agruparse hasta alcanzar un tamaño que provoca su precipitación. En términos generales, la estructura lineal de la amilosa facilita la formación de películas resistentes. Este proceso de asociación intermolecular entre moléculas de amilosa se conoce como retrogradación (Tapia et al., 2007).

2.3.1.2. La amilopectina

Es un polímero ramificado formado por cadenas lineales constituidas por 15 - 35 moléculas de glucosa unidas por enlaces α - D - (1 \rightarrow 4). Estas cadenas están unidas entre ellas por enlaces α - D - (1 \rightarrow 6) que forman los puntos de ramificación (Figura 4).

Figura 4

Esquema de la amilopectina



Fuente: Tapia et al. (2007).

El gran tamaño y la estructura ramificada de la amilopectina limita la movilidad de los polímeros e impide que se alineen lo suficientemente como para permitir la formación de enlaces de hidrógeno. Como resultado, las soluciones acuosas de amilopectina se caracterizan por su claridad y estabilidad, lo que indica su resistencia a gelificarse durante el almacenamiento. A diferencia de la amilosa, no producen películas tan fuertes ni flexibles y tampoco forman complejos con el yodo. Aunque la amilopectina también puede formar complejos en sus secciones lineales, estas son cortas, lo que produce hélices pequeñas capaces de incorporar solo moléculas pequeñas. La amilopectina puede formar complejos de color rosado con el yodo, pero no es capaz de formar complejos con ácidos grasos (Tapia et al., 2007).

2.4. MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN

Los almidones nativos según su origen tienen propiedades únicas. Pero de uso limitado como aditivos en la industria, ya que son sensibles al pH, temperatura, a los



esfuerzos de corte y son poco solubles (Espinoza, 2017), debido a esto se llegó a la necesidad de modificarlos para causar ruptura de algunas o de todas sus moléculas; y mejorar sus propiedades funcionales para obtener nuevos productos (Martínez & Sánchez, 2020). Los almidones pueden modificarse por diversos tratamientos (Espinoza, 2017), al ser modificados, los almidones nativos mejoran sus propiedades fisicoquímicas y funcionales (Yalta, 2012), permitiendo su uso como aditivo en la industria alimentaria, microencapsulación en la industria farmacéutica (Jaramillo, 2013; Manrique, 2006; Velásquez, 2019). También se utilizan por sus propiedades espesantes y gelificantes, retenedores de humedad, agente coloidal, aglutinante, emulsificante, estabilizador, en mezclas con harinas para bajar el contenido de proteínas y la fuerza del gluten, regulan, estabilizan la textura y consistencia de los alimentos (Glorio Paulet et al., 2009; Quispe, 2018).

Yalta (2012), explica que los almidones modificados pueden considerarse dentro de un grupo de productos alimenticios, denominados como: PAI (Productos Alimentarios Intermedios), más conocidos como PIA (Productos Intermedios Agroindustriales), no son más que aquellos productos comestibles, que proceden de transformaciones de aquellas materias primas básicas a fin de adaptarlas mejor a un proceso industrial. También indica que, el almidón modificado más simple es el pregelatinizado, producto instantáneo con hidratación rápida. Asimismo, dentro de las modificaciones físicas se encuentran la hidrólisis parcial, método de baja humedad, método de recocado extrusión, tratamiento térmico, radiación y ultrasonido.

Por otro lado Sigala (2019), indica que los procedimientos físicos implican el uso de calor y humedad, entre ellos la pregelatinización, calor-humedad, recocado y extrusión; estas modificaciones químicas introducen grupos funcionales en la molécula del almidón usando reacciones de derivatización o reacciones de degradación.



También Espinoza (2017), menciona que los métodos de modificación física, lían el tratamiento del granulo del almidón en diferentes condiciones como temperatura, humedad, presión con la finalidad de alterar el tamaño de los gránulos del almidón y convertir el almidón nativo soluble en agua fría (diámetro < 5 μm). Indicando así que, la modificación química involucra tratamientos con ácido, la reticulación, oxidación, sustitución, esterificación y eterificación del almidón. Por otro lado, Jaramillo (2013), explica que la modificación del almidón se realiza con la finalidad de cambiar las características de gelatinización y cocción del granulo del almidón, para disminuir la retrogradación y tendencia de almidones con alto contenido de amilosa a gelificar, mejorando el carácter hidrofílico y propiedades funcionales.

El almidón se modifica por 2 razones importantes: 1) los almidones nativos carecen de algunas propiedades funcionales que puedan proporcionar los almidones modificados; 2) los almidones modificados pueden mejorar la textura, la consistencia de algunos productos alimenticios (Manrique, 2006; Yalta, 2012).

2.4.1. Almidones pregelatinizados

Son llamados pregeles o almidones instantáneos (Yalta, 2012). Son útiles en la industria debido a las propiedades que pueden proveer a la calidad final del producto, mejorando las características de viscosidad y textura. Por su gran importancia dentro de la industria, en la actualidad se cuentan con diversos métodos para llevar a cabo la producción de almidones pregelatinizados, como: secado por tambor, calentamiento por microondas, procesos dieléctricos (calentamiento óhmico) e hidrotérmico y autoclave.

Sin embargo, Manrique (2006), indica que estos procesos mencionados presentan desventajas por alto consumo de energía, tiempo y costo elevado de



producción, siendo algunos de ellos procesos discontinuos, y justifica como un proceso viable para llevar a cabo la producción de almidones pregelatinizados, mediante el proceso de extrusión.

Sigala (2019), explica que el almidón pregelatinizado (APG) es el almidón que a sido sometido a un proceso de cocción hasta la gelatinización completa y un proceso de secado simultaneo (o posterior), la principal consecuencia de este tratamiento es la destrucción de la estructura molecular, lo que resulta la fragmentación completa y la ausencia de birrefringencia; mientras que la gelatinización es un fenómeno producido por el calentamiento del granulo de almidón en un medio acuoso, que lleva a romper el orden molecular y provoca cambios irreversibles, donde el almidón absorbe agua, causando cambios reológicos y morfológicos y durante el proceso de enfriamiento, dependiendo de la concentración el almidón gelatinizado adquiere una consistencia de pasta suave o gel, es decir, los geles están en estado meta-estable de no equilibrio y por lo que sufren una transformación de su estructura al presentarse una agregación de cadena y recristalización durante el almacenamiento.

El recocado o annealing (ANN) es un tratamiento físico que consiste en calentar el almidón en presencia de un exceso de agua (más del 60% p/p) o con un contenido intermedio de agua (entre 40% y 55% p/p). Este proceso se realiza a temperaturas comprendidas entre la temperatura de transición vítrea y la temperatura de gelatinización, durante un período determinado. Este tratamiento modifica las propiedades fisicoquímicas del almidón sin alterar la estructura del gránulo. Como efecto, se aumenta la temperatura de gelatinización, se reduce el rango de temperatura de gelatinización y se disminuye el poder de hinchamiento. Los gránulos de almidón recocado presentan regiones amorfas más ordenadas y



una mejor alineación de las dobles hélices de amilopectina. Como resultado, se restringe la capacidad de hidratación de los gránulos durante la gelatinización (Sigala, 2019).

Por otro lado, Barrera et al., (2004) citado por Orbea (2020) menciona que, la pregelatinización es una de las modificaciones más importantes del almidón, ya que le confiere solubilidad en agua fría. Al calentar una solución acuosa de almidón, los gránulos se hinchan y generan una solución viscosa que, al enfriarse, puede formar geles con distintos niveles de firmeza y estabilidad. Además, cada tipo de almidón presenta un grado de cristalización específico, lo que significa que su hinchamiento y gelatinización ocurren bajo diferentes condiciones de temperatura. La temperatura a la que se pierde la birrefringencia coincide con el punto de máximo hinchamiento del gránulo de almidón, y se conoce como la temperatura de gelatinización.

Arenas (2014), menciona que la modificación física se conoce como pregelatinización, el cual consiste en gelatinizar el almidón natural y luego deshidratarlos mediante procesos de extrusión o liofilización. También Jaramillo (2013), indica que el almidón pregelatinizado es producido por secado en rodillos, extrusión o secado por aspersion. Lancho Ruiz (2015), explica que el almidón nativo no resiste al calentamiento prolongado, por lo que se modifica, generando un estallido de los gránulos, una solubilización e hidrolisis parcial de las moléculas constituidas pero con un descenso de la viscosidad, así mismo Sigala (2019), explica que el almidón se puede modificar aplicándose solo o con reacciones químicas para cambiar la estructura granular, obteniendo un almidón soluble en agua fría preparado por pregelatinización, y debido a este proceso y además secado la integridad granular se pierde y la viscosidad reduce, también



Pacheco (2019), señala que las modificaciones del almidón surgen para ajustar su viscosidad, resistencia a condiciones ácidas y estabilidad frente al congelamiento y deshielo, mejorando sus propiedades funcionales.

2.5. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN

Las propiedades fisicoquímicas según Velásquez (2019), determinan el uso del almidón, dentro de ellas están:

2.5.1. El tamaño de partícula del almidón

Esta referido al diámetro del promedio, depende de la fuente botánica. Los gránulos de almidón tienen un aspecto característico, el tamaño varío, desde los gránulos minúsculos de arroz y avena a los grandes de papa y plátano, con formas regulares, por ejemplo, esféricas, ovoide o angulares. Por otro lado Peña (2017), indican que el tamaño del granulo de almidón influye significativamente en las propiedades fisicoquímicas, como claridad de paste, contenido de amilosa y poder de hinchamiento. Según Apaza (2018), Grados & Gutiérrez (2010), indica que la morfología de los gránulos de almidón varía según la fuente, donde el tamaño varío desde 2 a 10 μm , presentan la propiedad de birrefringencia cuando se ven bajo luz polarizada, asimismo Apaza (2018), también indica que se pueden encontrar gránulos con forma ovalada, redonda, esférica, lenticular, poligonal e incluso formas irregulares de tamaños diferentes desde 1 a 100 μm de diámetro, donde los gránulos de 1 a 20 μm se consideran pequeños y de 20 a 100 como largos.

Asimismo Bustincio (2014), indica que estos gránulos se clasifican como unimodal y bimodal, esta última se caracteriza por poseer gránulos largos y pequeños en una misma fuente botánica, mientras que la unimodal solamente



posee un solo tamaño. Esta distribución hizo que se clasifiquen los gránulos de almidón como tipo A, siendo mayores a 10 μm de diámetro, con formas esféricas o poligonales.

Según Valdez (2019), indican que en general el tamaño de granulo de almidón puede variar desde menos de 1 μm hasta más de 100 μm de diámetro, además en función a ello se definió por clases de acuerdo al tamaño: largo (25 μm), medio (10 - 25 μm), pequeño (5-10 μm) y muy pequeños (< 5 μm), por otro lado Velásquez (2019), indican que los gránulos de almidón grandes son ineficientes como estabilizadores por la fuerza gravitacional al sedimentarse, más sin embargo los gránulos pequeños son recomendados estabilizadores y producir emulsiones.

El tamaño de los gránulos del almidón muestra relación con la amilosa/amilopectina, les confieren a los almidones propiedades fisicoquímicas únicas (Hidalgo & Micho, 2016).

2.5.2. Rendimiento de extracción (%)

Según Bustincio (2014) y Hermosa (2013), indican que el rendimiento está en función de la tecnología de extracción utilizada, expresándose como el cociente multiplicado por 100 para expresarlo en porcentaje. Así mismo menciona que la diferencia de rendimiento está determinada por el tamaño de tubérculo o raíz y el tamaño de los gránulos de almidón influyen notablemente en el rendimiento.

2.5.3. Contenido de amilosa/amilopectina

Según Quispe (2018), estos polisacáridos se presentan juntos en los gránulos. Los almidones contienen más amilopectina que amilosa. La amilosa es



el principal componente que se lixivia al espacio intergranular, por lo que el almidón con mayor contenido de amilosa es más soluble. Por otro lado Arzapalo et al. (2015) citado por Quispe (2018), indica que la solubilidad del almidón está relacionada con las fuerzas o enlaces de unión de la amilosa y amilopectina dentro del almidón, concluyendo que los gránulos con enlaces fuertes de unión tienen bajo índice de solubilidad.

Según Valdez (2019), indica que la proporción relativa de amilosa y amilopectina determina la funcionalidad del almidón. Los almidones con una alta proporción de amilosa son ideales para procesos de snacks porque aportan crujencia y actúan como una barrera que limita la absorción de aceite durante la fritura. En la producción de geles, la amilosa funciona como un agente gelificante eficiente, logrando un cuajado rápido. Además, en la elaboración de caramelos, se utiliza como una película de revestimiento. Sin embargo, una desventaja de los almidones con alto contenido de amilosa es que tienden a presentar problemas de retrogradación debido a la recristalización del almidón. Por otro lado, los almidones con un alto contenido de amilopectina se emplean para mejorar la uniformidad, la textura y la estabilidad de los alimentos. También son útiles para mantener la estabilidad de los productos durante los ciclos de congelación y descongelación.

2.5.4. Composición proximal

La mashua es nutritiva cuenta con 20 % de sólido y 16 % de proteína en materia seca, pero es variable, depende mucho de la variedad de la mashua, además contiene una cantidad elevada de aminoácidos esenciales como la lisina (Laura & Torres, 2018).

Según Galindo (2023), el valor nutritivo de la mashua supera al de algunos cereales y de la papa, así mismo indica que en algunas variedades de la mashua se aprecia cantidades máximas de carotenoides como la vitamina A y de vitamina C (77 mg en 100 g de materia fresca comestible), siendo el cuádruple de vitaminas encontradas en la papa. Por otro lado, los glucocianatos de la mashua presentan efectos beneficiosos para el sistema inmunológico, al mismo tiempo por su consumo en grandes cantidades podrían presentar efectos secundarios en el sistema nervioso.

También Quispe (2018), indica que el contenido de agua de los tubérculos de mashua es alto, variando de 79 % a 94 % en materia fresca. Presenta alto contenido de carbohidratos, pero particularmente de almidón.

Tabla 1

Composición proximal de la mashua en 100 gramos de porción comestible.

Composición	Mashua Fresca (BH)	Mashua Deshidratada (BS)
	Cantidad	Cantidad
Humedad (%)	79,2 – 93,8	15,3 - 78,3 – 92,4
Carbohidratos (g)	7,0 – 13,1	75,4 - 78,6
Proteína (g)	1,1 – 2,7	4,3 - 7,2 – 13,09
Grasa (g)	0,5 – 0,9	1,1 – 0,1 – 1,4
Ceniza (g)	0,6 – 1,1	3,9 – 4,2 – 6,5
Fibra (g)	0,5 – 1,5	3,4 – 4,9 – 8,6

Fuente: Modificado a partir de Galindo (2023); Laura-Chirinos & Torres (2018); Quispe (2018).

2.6. PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN

Las propiedades funcionales son determinantes en la calidad del producto final, (Grados & Gutiérrez, 2010; Quispe, 2018) estas dependen directamente de la relación amilosa/ amilopectina (Quispe, 2018).

Estas propiedades funcionales son muy importantes, debido a que están relacionadas entre sí, son de gran importancia ya que cada uno de ellos son indicadores



de cierto carácter que tienen el almidón. La CAA representa la cantidad de agua que el gránulo de almidón es capaz de absorber, el ISA del almidón indica la capacidad que tienen los sólidos de almidón para dispersarse en solución acuosa (reaccionar y disolverse) (Peña, 2017). Es indicativo del grado de asociación existente (enlace intra-granular) entre los polímeros de almidón amilosa y amilopectina (Martínez & Sánchez, 2020). Asimismo, el ISA y CAA se considera como un indicativo del grado de modificación de los almidones por tratamiento térmico (Puente, 2016). El PH indica la capacidad del almidón para hidratarse bajo condiciones de cocción específicos (Peña, 2017). El poder de hinchamiento se relaciona con la capacidad de absorción de agua de cada almidón, el poder de hinchamiento se incrementa a altas temperaturas $> 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, por la relajación progresiva de las fuerzas dentro del granulo. El PH depende del contenido de amilopectina, ya que la amilosa actúa como un diluyente e inhibidor del hinchamiento (Martínez & Sánchez, 2020).

2.6.1. Capacidad de absorción de agua

A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el granulo empieza a hincharse y aumenta de volumen (Quispe, 2018). Este comportamiento puede ser atribuido en relación amilosa/amilopectina y a la diferencia en la distribución en la longitud de la cadena (Yalta, 2012). Estas zonas amorfas son las menos organizadas, las más accesibles y los puentes de hidrogeno no son tan numerosos, ni rígidos como en las áreas cristalinas, por lo que, cuando se calienta el almidón empieza un proceso lento de absorción de agua, determinada por las fuerzas de unión en la estructura del granulo de almidón, la absorción de agua depende del grado de asociación molecular entre la amilosa y la amilopectina, como de la temperatura de gelatinización a la que está expuesto el granulo de almidón, también el índice de absorción de agua está relacionado

con fuentes biológicas, el tamaño y la forma del granulo, es decir, cuando menor sea el tamaño del granulo existirá mayor capacidad de absorción de agua (Quispe, 2018).

2.6.2. Índice de solubilidad de agua

La solubilidad es la máxima cantidad de soluto que se disolverá en una cantidad de disolventes a una temperatura específica (Quispe, 2018). Según Hermosa (2013), la solubilidad del almidón ocurre como resultado del hinchamiento del gránulo y del aumento de la temperatura. Tanto el poder de hinchamiento como el índice de solubilidad reflejan el grado de asociación entre los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina). El aumento en la solubilidad se debe principalmente al contenido de amilosa, ya que estas moléculas pueden disolverse y salir al exterior del gránulo hinchado.

Por otro lado Yalta (2012), indica que el almidón es un biopolímero poco soluble debido a que la amilosa y la amilopectina se unen mediante puentes de hidrogeno, formando una estructura compleja, altamente organizada, que se presenta una gran estabilidad a las múltiples interacciones que existen con la amilosa y la amilopectina, su solubilidad depende de la cantidad disponible de estos dos polímeros.

2.6.3. Poder de hinchamiento

Es una medida de la capacidad del almidón para hidratarse bajo condiciones específicas como: temperatura y disponibilidad de agua (Quispe, 2018). El poder de hinchamiento de los gránulos de almidón está relacionado directamente con el tamaño y el contenido de amilosa y amilopectina. Cuando los gránulos de almidón se sumergen en el agua, las moléculas de agua se propagan,



al interior del granulo por lo que se hincha y cuando se calienta, se incrementa el volumen llegando el almidón a perder su cristalinidad y la amilosa puede ser lixiviada notablemente formando así un gel, es decir, cuando más alto es el contenido de amilosa, más bajo es el poder de hinchamiento y menor es la fuerza del gel para la misma concentración del almidón (Yalta, 2012).

2.7. PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ALMIDÓN

La reología estudia la relación entre las fuerzas ejercidas sobre un material y la deformación resultante en función del tiempo cuando se aplica una fuerza de cizallamiento a un fluido, esta origina una deformación denominada flujo, es decir, la reología es la ciencia que estudia cómo se deforma y fluye un material (liquido o sólido) bajo una fuerza aplicada, también estudia el comportamiento mecánico de cómo un material responde cuando se le aplican fuerzas, cómo se deforma, cuánto puede resistir antes de romperse y si regresa o no a su forma original después de ser forzado (Grados & Gutiérrez, 2010).

En términos sencillos, la reología es el estudio de cómo se comporta un material cuando lo estiramos, comprimimos o mezclamos, qué tan espeso o flexible es algo, por qué algunos líquidos fluyen lentamente, mientras que otros, fluyen rápido, y cómo cambia cuando le aplicamos una fuerza; en el caso del almidón analizar su comportamiento mecánico ayuda a entender su textura, estabilidad, y cómo reaccionan al ser manipulado. Las propiedades reológicas del almidón; dependerá de la fuente de almidón y la concentración.



2.7.1. Viscosidad

La viscosidad se define como la resistencia interna que los líquidos presentan al fluir cuando se les aplica un esfuerzo cortante. La viscosidad aparente, por su parte, describe la relación entre el esfuerzo de cizallamiento (esfuerzo de corte) y la velocidad de cizallamiento en flujo estacionario (velocidad de deformación y/o tasa de corte en fluidos no newtonianos). La determinación de viscosidad se usa para medir el grado de fragmentación de los gránulos de almidón y la severidad del tratamiento. Cuando se enfrían las pastas, el aumento de viscosidad es una propiedad de la tendencia a la reasociación de las moléculas del almidón, Por otro lado, los almidones modificados sometidos a reordenamiento y al cambio de configuración, son menos propensos a la reasociación (Badui 1988 citado por Cáceres Najarro, 2009).

A través de los estudios reológicos, se pueden clasificar los fluidos como newtonianos y no newtonianos (plásticos, tixotrópicos, pseudoplástico, diletantes). Los fluidos pseudoplástico, en particular, se caracterizan por una disminución de la viscosidad aparente al aumentar el gradiente de velocidad, lo que refleja una ruptura o reorganización estructural continua, reduciendo la resistencia al flujo. Este comportamiento se atribuye a la presencia de sustancias de alto peso molecular y a la dispersión de sólidos en fase sólida (Cáceres Najarro, 2009).

Entre los modelos empleados para describir el comportamiento reológico de los fluidos pseudoplástico, el más popular y fácil de aplicar es el modelo de Ostwald-De Waele, también llamado como la ley de potencia (Cáceres Najarro, 2009).



$$\tau = Ky^n \dots\dots\dots (1)$$

Matos y Menegalli (1998) mencionan que la viscosidad aparente (μ_{ap}) de un fluido no newtoniano puede expresarse como:

$$\mu_{ap} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

- τ : esfuerzo de corte (Pa) (shear stress).
- K: coeficiente de consistencia (Pa. sⁿ).
- $\dot{\gamma}$: velocidad de deformación (S⁻¹) (shear rate).
- n: índice de comportamiento de flujo (adimensional).

Numerosos factores afectan el comportamiento reológico de los alimentos, entre ellos la presión, la estructura del alimento, la velocidad de deformación, y el tiempo de tratamiento de la muestra. Sin embargo, los más relevantes y ampliamente estudiados son la temperatura de tratamiento, la concentración del alimento y la velocidad de corte (Garza 2007 citado por Cáceres Najarro, 2009).

La viscosidad máxima en una pasta, ocurre cuando se libera el exudado y los gránulos de almidón hinchados se pliegan o deforman. Así, el incremento de la viscosidad al calentar una suspensión de almidón en agua es útil para monitorear el proceso de formación de la pasta. La viscosidad de la pasta se debe a la resistencia al flujo de los gránulos más grandes que ocupan todo su volumen. En esta fase, los gránulos pueden desintegrarse fácilmente con una nueva agitación, lo que reduce la viscosidad de la pasta (Fennema 2000 citado por Cáceres Najarro, 2009).



Los dispositivos utilizados para medir los cambios de viscosidad en soluciones o pastas de almidón al ser calentadas incluyen el Viscosímetro Scout, el Rapid Visco Analyzer (RVA), el Viscosímetro Brookfield y el Viscosímetro Brabender (amilografo). Este último, ampliamente utilizado, es un viscosímetro rotacional que opera a una velocidad constante y somete la muestra a ciclos de calentamiento y enfriamiento, registrando continuamente la resistencia al flujo durante este periodo (Lewis 1993 citado por Cáceres Najarro, 2009).

2.7.2. Clasificación reológica

La clasificación reológica de los alimentos se basa en cómo estos responden a fuerzas o deformaciones. Los materiales se clasifican en newtonianos y no newtonianos según su comportamiento de flujo y viscosidad.

2.7.2.1. Fluidos newtonianos

Son líquidos de viscosidad constante, es decir, cuando el fluido es sometido a esfuerzo de corte, se desarrollan relaciones de deformación directamente proporcionales a la velocidad de deformación, tal como se observa en la Figura 5 (Martínez, 2002). En términos sencillos son fluidos donde la viscosidad es contante para una temperatura dada y no depende de la tasa de corte (velocidad de deformación), el flujo es lineal con respecto al esfuerzo cortante.

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \dots\dots\dots (3)$$

Donde: μ = viscosidad newtoniana (Pa.s), $\dot{\gamma}$ = velocidad de deformación (s^{-1}), τ = esfuerzo de corte (Pa). Los fluidos newtonianos,



presentan una línea recta que relaciona τ - $\dot{\gamma}$, con intercepto cero y pendiente igual a μ .

2.7.2.2. Fluidos no newtonianos

Los fluidos viscosos no newtonianos no presentan proporcionalidad entre la relación de $\dot{\gamma}$ - τ , la viscosidad es denominado como viscosidad aparente y está en función de la relación de deformación, como se observa en las Figuras 5 y 6 (Martínez, 2002). En términos sencillos, son fluidos de viscosidad variante según la tasa de corte, estos no siguen una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la tasa de corte, existen varios tipos de fluidos no newtonianos, las cuales son:

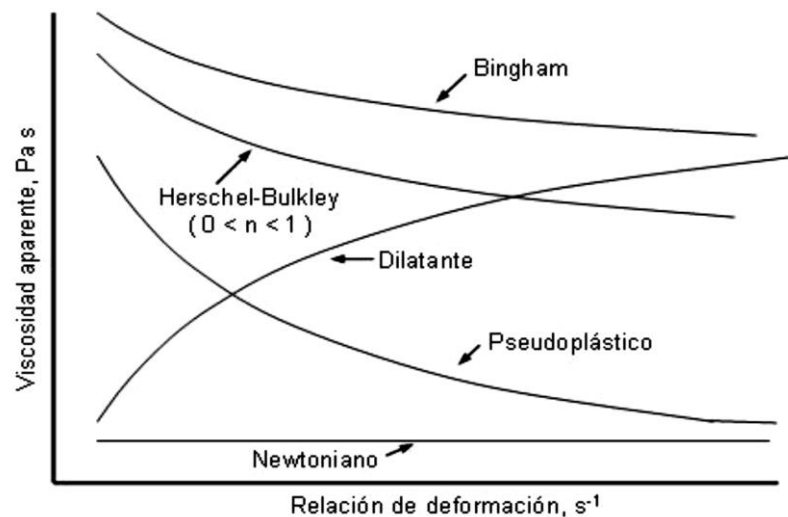
Pseudoplástico: La viscosidad disminuye a medida que aumenta la tasa de corte, permitiendo que ciertos materiales fluyan más, son caracterizados por utilizar el modelo de ley de potencia, donde el índice de comportamiento reológico (adimensional) es menor a la unidad ($0 < n < 1$) (Martínez, 2002).

Dilatante: Es el fenómeno inverso de la pseudoplasticidad porque la viscosidad aumenta con la tasa de corte, se vuelven más espesos a medida que se aplica más esfuerzo, el índice de comportamiento reológico es mayor que la unidad ($1 < n < \infty$), este tipo de fluidos solo se encuentran en líquidos que contienen una alta proporción de partículas rígidas insolubles en suspensión, este fenómeno puede ser el resultado de partículas de tamaños y formas diferentes, estrechamente ajustadas y firmemente empaquetadas (Martínez, 2002).

Plásticos: Requieren un esfuerzo inicial (esfuerzo de fluencia) para comenzar a fluir, una vez alcanzado ese esfuerzo, pueden comportarse como un fluido newtoniano o no newtoniano. Existen dos tipos principales: Plásticos pseudoplástico o fluidos de Herschel-Bulkley que requieren un esfuerzo mínimo para comenzar a fluir, llamado esfuerzo de fluencia y luego muestran un comportamiento pseudoplástico, es decir, presentan un adelgazamiento de corte, característico de las pastas de dientes, mantequilla, cremas. Y Plásticos de Bingham, estos cuerpos no se derraman bajo el efecto de su peso, puesto que necesitan que la presión sobrepase un umbral para que comience el flujo, es decir, un cuerpo plástico de Bingham comienza a fluir después de superar un esfuerzo de fluencia constante (Martínez, 2002).

Figura 5

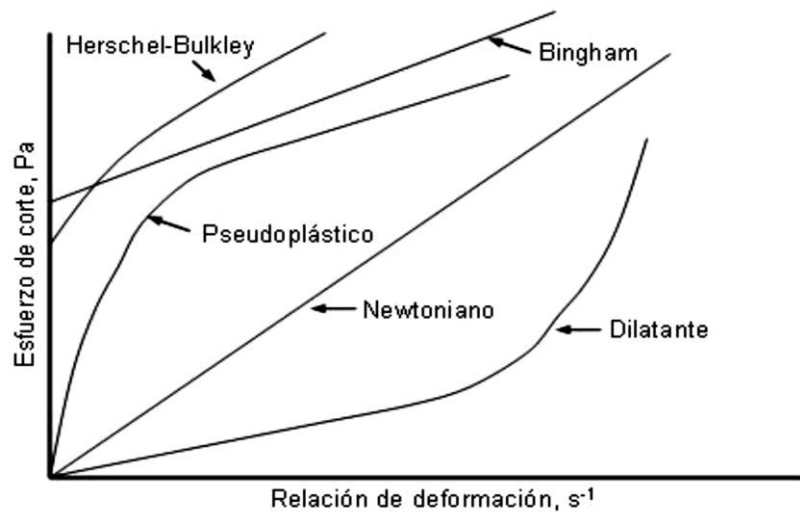
Viscosidad aparente en fluidos independientes del tiempo.



Fuente: Martínez (2002).

Figura 6

Reo-grama en fluidos independientes del tiempo



Fuente: Martínez (2002).

2.7.3. Constantes reológicas

El índice de consistencia o coeficiente de consistencia (K , Pa. s^n), es un indicador del grado de viscosidad de fluidos no newtonianos, también es una constante de proporcionalidad entre la relación de deformación y el esfuerzo de corte aplicado.

El índice de comportamiento reológico n , es un número adimensional que indica la cercanía al flujo newtoniano. Para un comportamiento newtoniano $n=1$, para un fluido dilatante n es mayor a 1, y para un fluido pseudoplástico n es menor a 1.



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGARES DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se realizó en las instalaciones de los siguientes laboratorios de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

- La extracción del almidón nativo de dos variedades de mashua (negra y amarilla), se realizó en las instalaciones de la planta piloto, la obtención de los almidones pregelatinizados se realizó en el laboratorio de microbiología de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.
- Análisis fisicoquímico y propiedades funcionales; se realizaron en los laboratorios de biotecnología y laboratorio de evaluación nutricional de alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.
- Análisis de las propiedades reológicas; se realizó en el laboratorio de postcosecha de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

3.2. MATERIA PRIMA

Para llevar adelante el estudio, se empleó dos variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) proveniente de las ferias y mercados de Ilave y Juli de la región de Puno.



3.3. EQUIPOS Y MATERIALES

3.3.1. Equipos

- Balanza analítica, marca Sartorius, modelo CP323S, cap. 320 g x 1 mg, procedencia alemana.
- Balanza de precisión marca ADAM, modelo HCB 602H, serie AE76406206, capacidad de 600g, legibilidad de 0.01g, procedencia Inglaterra.
- Analizador de humedad, marca Mettler Toledo, modelo HX204, procedencia España.
- Equipo Ro-TAP, marca Retsch.
- Estufa de secado, marca ED Binder TM.
- Estufa, marca Memmert, modelo UNE-300.
- Molino pulverizador, marca Fristch, modelo PULVERISETTE 14, serie 145020, voltaje 230V, procedencia Alemania.
- Centrifuga marca kebt lab y marca Hettich, modelo CM90-2, procedencia Alemania.
- Licuadora, marca Oster, 1.25 litros, potencia 1000W.
- Termómetro digital marca Checker Hanna, modelo AZ88598 TIPO K, T°: -50°C a 300°C.
- Baño de agua maría, marca MEMMERT, modelo WNE10 de 10 L.
- Autoclave marca Eurotech, modelo YX-18LDJ con potencia de 50/60 Hz.
- Incubadora de 200v de potencia y 1.8 amperios.
- Estufa, marca ED Binder TM, procedencia Alemania.



- Mufla, marca Telco, Thermo Scientific, modelo FB1418M, procedencia Colombia.
- Equipo soxhlet analizador de grasa (refrigerante, cámara y balón).
- Equipo microkjedahl analizador de proteína.
- Espectrofotómetro, marca Thermo Spectro, modelo Genesys 20, longitud de onda 325 a 1100 nm, procedencia Estados Unidos.
- Viscosímetro, marca Nahita, modelo LV 802.

3.3.2. Materiales

- Crisoles de porcelana.
- Vasos precipitados Pyrex de 5 ml y 50 ml marca Bocco Germany.
- Lunas de reloj Pyrex.
- Pinzas para manipulación de instrumentos expuestos al calor.
- Pizetas de 250 ml.
- Probeta graduada de 10 ml marca Bocco Germany.
- Papel filtro y papel secante.
- Papel de aluminio.
- Pipeta volumétrica de 5 ml.
- Espátula cuchara Niquel 150 mm.
- Bolsas de polietileno (17.7 cm x 19,5 cm).
- Tubos de ensayo con tapa rosca Pyrex de 10 ml.
- Gradillas para tubos de ensayo.
- Mortero.
- Frascos de vidrio con tapa metálicas.
- Tela de algodón filtrante color blanco.



3.3.3. Reactivos

- Agua destilada, marca ALKOFARMA con densidad: 0,997 - 1,002 g/ml.
Índice de refracción: aprox. 1,3330. pH: 5,0 - 7,0. Conductividad: < 4,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Agua destilada, marca CIELO.
- Éter de petróleo, punto de ebullición 40 °C – 60 °C.
- Yodo, marca Merck, densidad 1.6 g/cm³.
- Yoduro de Potasio, marca Sigma-Aldrich, 1.1 g/cm³.
- NaOH, marca Merck KGaA, densidad: 1.35 g/cm³.
- Etanol, marca J.T. Baker, densidad: 0.803 g/cm³.
- Ácido acético, marca J. T. Bake.
- Catalizador (sulfato de cobre, sulfato de potasio y selenio), 99,0 % de pureza, marca Merck.
- Alcohol desinfectante 70°, marca comercial Portugal, 1000 ml, RSGN-0034.
- Ácido sulfúrico (98 %), libre de nitrógeno.
- Ácido borito, marca Merck, densidad: 1.01 g/cm³.
- Indicador tashiro (rojo de metilo - azul de metilo), marca Merck.
- Ácido clorhídrico, marca JT Baker, densidad: 1.19 g/cm³.



3.3.4. Software

- IBM SPSS Statistics 25
- Programa estadístico Statgraphics centurión XVI (versión 16.1.03).
- Microsoft® Excel® 2019 MSO (versión 2405 compilación 16.0.17628.20006).

3.4. FACTORES DE ESTUDIO Y RESPUESTA

3.4.1. Factores de estudio.

X1= Almidón nativo de mashua amarilla y negra.

X2= Almidones pregelatinizados de mashua amarilla y negra.

3.4.2. Factores de respuesta para el primer objetivo.

Y1= Propiedades físicas y funcionales.

- Determinación de tamaño de partícula.
- % Rendimiento.
- Capacidad de absorción de agua.
- Índice de solubilidad de agua.
- Poder de hinchamiento.

3.4.3. Factores de respuesta para el segundo objetivo.

Y2= Propiedades químicas.

- Contenido de amilosa/amilopectina.
- Composición proximal.
 - % de humedad.
 - % de grasa.



- % de cenizas.
- % de proteínas.

3.4.4. Factores de respuesta para el tercer objetivo.

Y3= Propiedades reológicas.

- Viscosidad.
- Parámetros reológicos.
 - K: coeficiente de consistencia (Pa. sⁿ).
 - n: índice de comportamiento de flujo (adimensional).

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

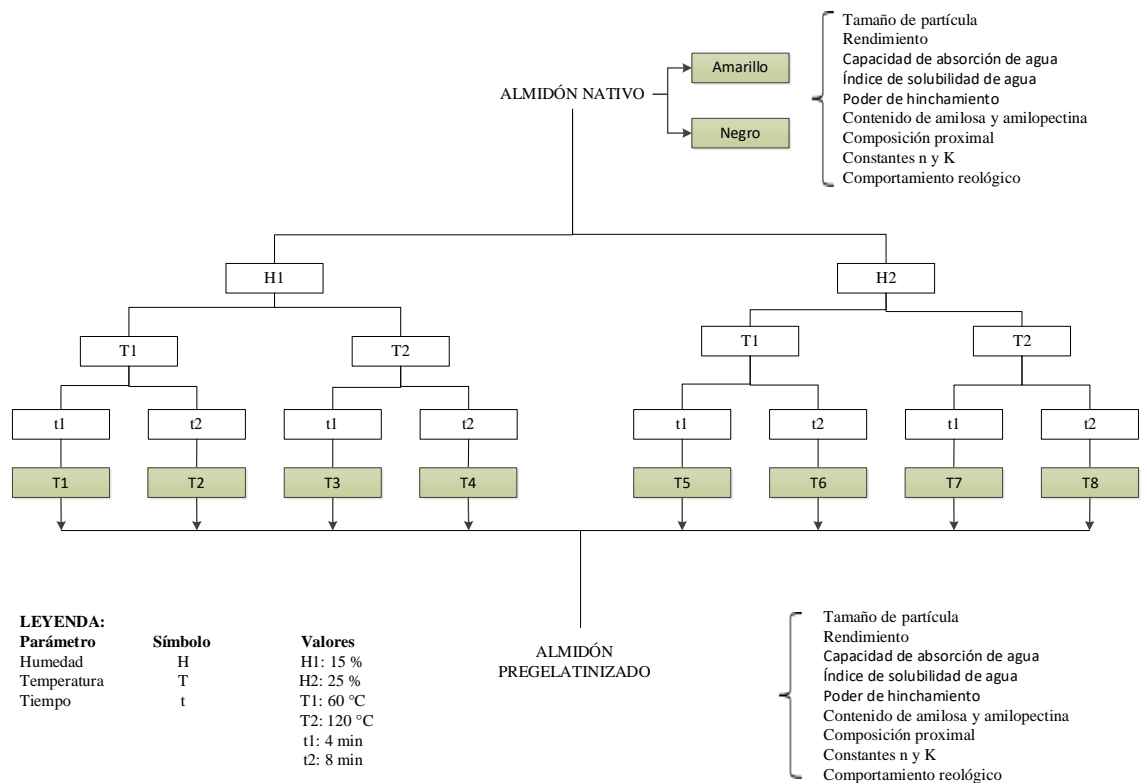
Este trabajo de investigación se realizó en dos etapas:

Etapa 1.- Se realizó la extracción del almidón nativo de dos variedades de mashua (negra y amarilla), según la metodología descrita por Quispe (2018). con algunas modificaciones, luego se realizó los análisis de las propiedades (Figura 7 y 8).

Etapa 2.- Se realizó el proceso de pregelatinizado de los almidones nativos de mashua negra y amarilla, según la metodología descrita por Puente (2016), Pérez (2018) ,Yalta (2012) Jaramillo (2013), luego se realizó los análisis de las propiedades (Figura 7 y 9).

Figura 7

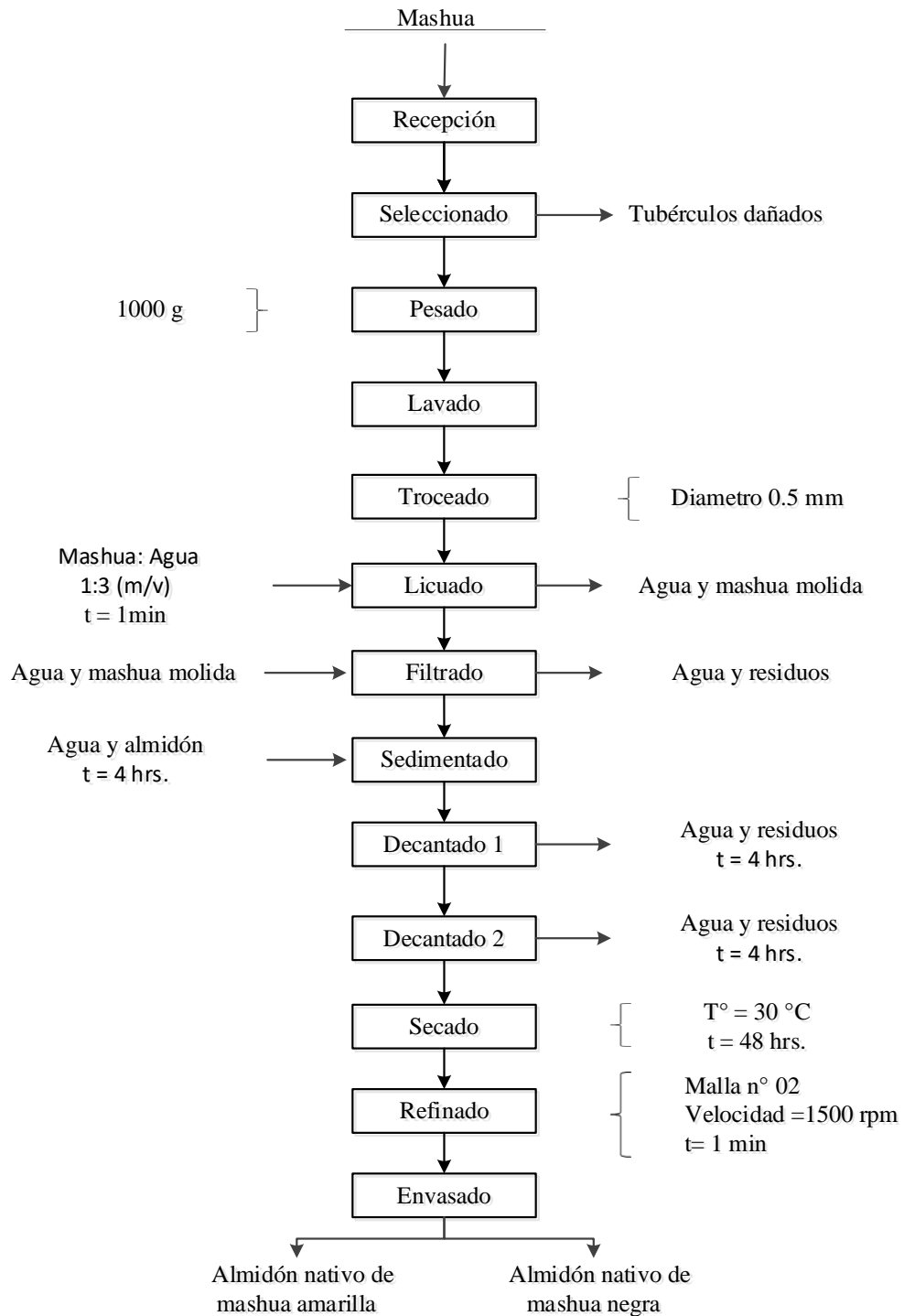
Esquema experimental para la investigación de las propiedades físicas, funcionales, químicas y reológicas a partir del almidón nativo y tratamientos de almidones pregelatinizados de dos variedades de mashua de la región de Puno.



3.5.1. Obtención del almidón nativo de mashua

Figura 8

Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón nativo de mashua.



Fuente: Modificado a partir de Quispe (2018).



- **Materia prima:** Los tubérculos de mashua se adquirieron de los mercados y ferias de Ilave y Juli de la región de Puno.
- **Recepción:** En esta etapa se eliminó todo lo que no sirve.
- **Seleccionado:** Se seleccionó con la finalidad de separar tubérculos dañados.
- **Pesado:** La materia prima se pesó 1000 g, para que sea apta y procesada.
- **Lavado:** La mashua fue lavada con abundante agua potable para eliminar la tierra y las impurezas.
- **Troceado:** La mashua se cortó con un cuchillo de cocina en pequeñas rodajas (0.05 mm) para facilitar el licuado.
- **Licuado:** Se realizó con la finalidad de liberar los gránulos de almidón, se licuó en una licuadora de marca Oster, durante 1 min, en una relación de 1:3 (m/v).
- **Filtrado:** La lechada de almidón se filtró en una malla de tela de un metro cuadrado para eliminar el material fibroso.
- **Sedimentado:** Se dejó sedimentar por 4 h para poder separar el agua del almidón.
- **Decantado 1:** Transcurrido este tiempo el sobrenadante se eliminado por decantación.
- **Decantado 2:** Se dejó sedimentar por 4 h más, para luego eliminar el sobrenadante nuevamente por decantación.
- **Secado:** Se realizó en una estufa con aire corriente a 30 °C por 48 h.
- **Refinado:** Se realizó con el molino pulverizador, con la malla n° 02, velocidad 1500 rpm por 1 min, con la finalidad de uniformizar las partículas.



- **Envasado:** El almidón se envasó en bolsas de polietileno con la finalidad de guardar para su posterior análisis.

3.5.2. Obtención del almidón pregelatinizado de mashua

Para obtener las muestras de almidón pregelatinizado mediante el método hidrotérmico de pregelatinización, se prepararon suspensiones a dos concentraciones (15 % y 25 % p/p) almidón /agua; temperatura (60 °C y 120 °C) y tiempo (4 min y 8 min) con modificaciones de acuerdo a Puente (2016), Pérez (2018) ,Yalta (2012) Jaramillo (2013) (Figura 7) (Tabla 2).

Tabla 2

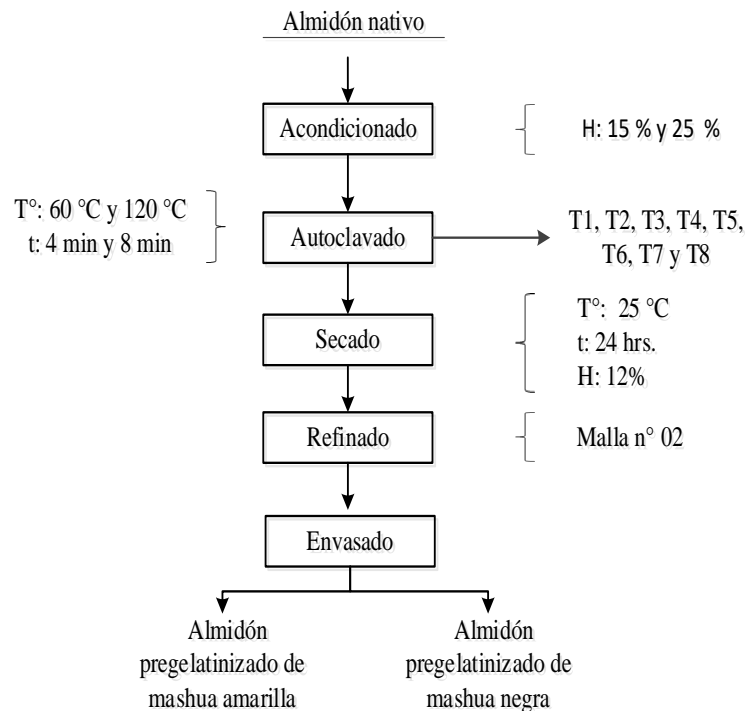
Codificación de los tratamientos de almidones pregelatinizados.

Tratamiento	% Humedad	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
T1	15	60	4
T2	15	60	8
T3	15	120	4
T4	15	120	8
T5	25	60	4
T6	25	60	8
T7	25	120	4
T8	25	120	8

Fuente: Modificado a partir de Pérez (2018, Yalta (2012),Puente (2016) Jaramillo (2013).

Figura 9

Diagrama de flujo del proceso de extracción del almidón pregelatinizado de mashua.



Fuente: Modificado a partir de Pérez (2018), Yalta (2012), Puente (2016), Jaramillo (2013).

- **Materia prima:** Se empleó los almidones nativos extraídos de mashua de las variedades amarilla y negra adquirido de las ferias de Ilave y Juli proveniente de la región de Puno.
- **Acondicionado:** se realizó previo cálculo de porcentaje de humedad para luego determinar la cantidad de agua a adicionar, con la finalidad de elevar los porcentajes de contenido de humedad, hasta 15 % y 25 %.
- **Autoclavado:** Se realizó a diferentes niveles de % de humedad (15 % y 25 %) y tiempo (4 min y 8 min), sometidos dos temperaturas (60 °C y 120 °C) constante se obtiene la precocción del almidón. Una vez listos, se



acomoda los frascos en las canastillas de la autoclave para someterlos a un proceso de pregelatinización con vapor a 14.7 psi.

- **Secado:** Se realizó en una estufa a 30 °C por 48 horas, hasta una humedad del 12 %
- **Refinado:** Se molió con el fin de obtener partículas homogéneas, utilizando la malla n° 02.
- **Envasado:** El almidón se envasó en bolsas de polietileno con la finalidad de guardar para su posterior análisis.

3.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.6.1. Propiedades físicas y funcionales

3.6.1.1. Distribución de Tamaño de Partícula (DTP)

Se empleó el método recomendado por Tapia Núñez et al. (2007) y procedimientos descritos por Gani et al. (2014), con algunas modificaciones:

Se ordenaron los tamices en forma ascendente, de tal modo que el tamiz de abertura de malla más gruesa quede en la parte superior, seguidamente se pesaron 50 g de almidón para transferir al tamiz de la parte superior y se agitaron mediante el uso de un equipo Ro-TAP con número de malla: 80, 100, 140 y 200; por un tiempo de 15 min para que cada tamiz deje pasar todos los finos que le corresponde según su abertura. Al término del tiempo se pesaron las fracciones de almidón. Los resultados se reportaron como el porcentaje de retención en cada malla en base a la muestra inicial de almidón, como se muestra a continuación:



$$DTP (\%) = \frac{\text{g retenidos en cada malla}}{\text{g muestra inicial}} \times 100 \% \dots\dots\dots (4)$$

3.6.1.2. Poder de hinchamiento (PH), Índice de solubilidad en agua (ISA) y Capacidad de absorción de agua (CAA).

Fueron determinados de acuerdo al método descrito por Gani et al. (2014) con algunas modificaciones.

Se pesaron 0.6 g de muestra de almidón (M0) y se mezcló con 30 ml de agua destilada. La suspensión se colocó en un baño maría durante 30 min a 45, 55, 65 y 75 °C con agitación cada 10 min. Se enfrió la muestra a temperatura ambiente y se centrifugó a 2000 rpm x g durante 15 min. El sobrenadante se retiró cuidadosamente y el sedimento de almidón hinchado se pesó (M1). El sobrenadante se evaporó y se llevó a la estufa a 30 °C durante 48 h hasta obtener un peso constante (M2).

Los valores de poder de hinchamiento, índice de solubilidad de agua y capacidad de absorción de agua se calcularon a partir de las siguientes ecuaciones:

$$PH = \frac{M1 \text{ gel (g)}}{(M0 \text{ almidón} - M2 \text{ gel seco})(g)} \dots\dots\dots (9)$$

$$ISA = \frac{M2 \text{ gel seco (g)}}{M0 \text{ almidón (g)}} \times 100 \dots\dots\dots (10)$$

$$CAA = \frac{M1 \text{ gel (g)}}{M0 \text{ almidón (g)}} \dots\dots\dots(11)$$

Donde: M0= Peso de muestra, M1= Peso del gel, M2= Peso del gel seco.



3.6.2. Propiedades químicas

3.6.2.1. Contenido de amilosa/amilopectina:

La determinación del contenido del porcentaje amilosa y amilopectina fue realizada según el método recomendado por ISO - 6647-1987 con modificaciones según Hoover & Ratnayake (2001), Mc.Grance et al., (1998).

Se pesó $100 \pm 0,5$ mg de muestra en matraz aforado de 100 ml, luego se disolvió la muestra de almidón en 9 ml de solución de NaOH al 1 N y 1 ml de etanol al 95 %, se dejó a temperatura de ambiente entre 18 a 24 h (para permitir la gelatinización), posterior a ello se aforo a 100 ml con agua destilada y se mezcló vigorosamente.

Mientras que, en otro matraz volumétrico de 100 ml, con contenido de 50 ml de agua destilada se agregó una alícuota de 5 ml de la preparación inicial (muestra gelatinizada) más 1 ml de ácido acético 1 N, y 2 ml de solución de yodo al 2 %, y completar hasta 100 ml con agua destilada. Luego almacenar bajo oscuridad durante 20 min, para leer la absorbancia de la solución a una longitud de onda de 620 nm utilizando un espectrofotómetro. Previa lectura calibrar con el blanco (solución sin la muestra).

El cálculo del porcentaje de amilosa se realizó según la ecuación de regresión para la curva estándar (Anexo 4).

Donde: x = % de amilosa; y = absorbancia a 620 nm.

$$y = 0,0168x + 0,2138; R^2 = 0,9998$$



$$\text{Porcentaje de amilosa} = \frac{\text{absorbancia}-0,2138}{0,0168} \dots\dots\dots (5)$$

El contenido de amilopectina se obtuvo por diferencia del contenido de amilosa del almidón, lo que permite la obtención de la relación amilosa y amilopectina (Hanco, 2021).

3.6.2.2. Composición proximal

Para el porcentaje de humedad, se determinó de acuerdo al método descrito por AOAC 985.14.2023 y procedimientos descritos por Acosta & Blanco (2013), con modificaciones: se utilizó el equipo analizador de humedad, para esto, se pesaron aproximadamente 2,5 g a 120 °C por un periodo de 10 min.

Para el porcentaje de cenizas, se determinó de acuerdo al método descrito por AOAC 923.03.2023 y procedimientos descritos por Acosta & Blanco (2013), con modificaciones: se pesaron aproximadamente 2 g de muestra en un crisol de porcelana previamente tarada, luego este se llevó a la mufla para la calcinación de la muestra a 600 °C por 2 h para quemar todo el material orgánico, transcurrido este tiempo, se apagó la mufla y se esperó a que la temperatura baje hasta 120 °C aproximadamente, luego se retiró el crisol con el residuo (cenizas) y se colocó en una campana de desecación hasta alcanzar la temperatura ambiental, y se determinó el peso de cenizas en una balanza analítica. Los resultados se expresaron en % de cenizas mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{P1-P2}{Pm} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$



Donde: P1=peso de gramos del crisol con cenizas, P2= peso en gramos del crisol vacío, Pm = peso en gramos de la muestra.

Para el porcentaje de grasa, se determinó de acuerdo al método descrito por AOAC 920.172.2023 y procedimientos descritos por Acosta & Blanco (2013), con modificaciones: Se utilizó el método equipo Soxhlet, empleando éter para su extracción. Se pesaron 2 g de muestra en un papel filtro Whatman n° 2, se empaquetó y colocó el paquete en el cuerpo del aparato soxhlet, se añadió éter de petróleo hasta que una parte del mismo sea sinfoneado hacia el balón del equipo y/o éter suficiente para extraer las grasas. Seguidamente se conecta la fuente de calor (cocina eléctrica), dejar que el solvente (éter) al calentarse se evapore y ascienda a la parte superior del cuerpo, se condense por refrigeración con agua y caiga sobre la muestra, regresando posteriormente al balón, arrastrando consigo la grasa. Este proceso se llevó a cabo durante 2 h con ocho sinfoneadas. Transcurrido el tiempo el balón debe retirarse del aparato cuando contiene poco éter (momentos antes que sea sinfoneado desde el cuerpo). Luego evaporar el solvente del balón en una estufa, enfriarla y pesar el contenido de grasa extraído. Los resultados se expresaron en % de grasa mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ de grasa} = \frac{P2-P1}{Pm} \times 100 \dots\dots\dots (7)$$

Donde: P1=peso de gramos del balón vacío que hace parte del equipo, P2= peso en gramos del balón que contiene la grasa extraída y Pm = peso en gramos de la muestra.



Para el porcentaje de proteínas, se determinó de acuerdo al método descrito por AOAC 981.10.2023 y procedimientos descritos por Acosta & Blanco (2013), con modificaciones a través del método Kjeldahl, en el cual se pesaron 0,1 g de muestra aproximadamente en papel filtro previamente tarado, se empaquetó y se colocaron en un balón digestor, luego se añadieron 0,25 g a 0,30 g de catalizador (sulfato de cobre, sulfato de potasio y selenio) para acelerar la reacción, más 2,5 ml de ácido sulfúrico. Luego colocar el balón en una cocina de digestión, este proceso termina cuando el contenido del balón es completamente cristalino (verde manzana transparente), se deja enfriar. Posterior a ello colocar la muestra y 20 ml de NaOH al 40 %, en el aparato de destilación del equipo Kjeldahl, mientras que en el otro lado en un matraz Erlenmeyer de 250 ml añadir 5 ml de ácido bórico (H_3BO_3) al 2 % y 4 gotas de indicador tashiro (rojo de metilo-azul de metilo). La destilación termina con el cambio de color, una vez terminada la destilación, se valoró la solución con ácido clorhídrico (HCl) al 0,05 N hasta el color rosa, anotar el volumen del gasto. Los resultados se expresaron en % de Nitrógeno mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Nitrogeno} = \frac{VxNx1,4}{Pm} \dots\dots\dots (8)$$

Donde: V= Volumen de HCl gastado en la valoración, N= Normalidad del ácido, Pm = peso en gramos de la muestra.

% de proteína = % N x Factor común 6,25 (para un cálculo más específico el factor va depender según la muestra en estudio).



3.6.3. Propiedades reológicas

Las suspensiones se realizaron al 5 % (almidón: agua), para los almidones pregelatinizados y nativos de dos variedades de mashua (negra y amarilla respectivamente). Luego fueron calentadas hasta alcanzar una temperatura de 60 °C con agitación constante y se mantuvieron a esta temperatura durante un periodo de 15 min.

3.6.3.1. Viscosidad

Se evaluó a 60 °C y 25 °C, en un viscosímetro Brookfield LV a cuatro velocidades de 6, 12, 30 y 60 rpm, utilizando la aguja n° 3; siguiendo el método propuesto por la FAO 2007 (Tapia Núñez et al., 2007), con algunas modificaciones descritas por Cáceres Najarro (2009), Sivoli et al. (2012), Bello Pérez et al. (2002), Barrientos (2013) y Tinoco (2016). Los resultados fueron expresados en mili pascal segundo.

3.6.3.2. Determinación de las constantes reológicas

Las constantes reológicas se calcularon empleando el método de conversión de Mitschka (1982), el cual permite obtener las funciones de viscosidad, estableciendo la relación entre el esfuerzo de corte y la tasa de deformación en viscosímetros Brookfield LV o similares. Para ello, primero se requiere el factor de conversión correspondiente, que se basa en la velocidad de rotación y la geometría del husillo, compatible con las dimensiones del modelo LV, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Factor de conversión para la transformación de viscosidad a porcentaje de torque en función de la velocidad de rotación.

Numero de husillo	Factor de conversión			
	Velocidad rotacional (rpm)			
	6	12	30	60
1	10	5	2	1
2	50	25	10	5
3	200	100	40	20
4	1k	500	200	100

Fuente: Manual viscosímetros Brookfield.

Teniendo los valores de viscosidad (μ) en m.Pa.s., transformar estos datos por el factor de conversión de la Tabla 3 a números porcentuales de la escala de torque (α) en unidades de cero a cien. El valor del factor de conversión (FC), se selecciona dependiendo al husillo utilizado en cada medición, luego es ingresado a la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{\mu}{FC} \dots\dots\dots (12)$$

Convertir los valores de la escala del dial de torque (α) a esfuerzo de corte (τ en Pa) (esfuerzo de cizallamiento y/o shear stress), para cada husillo utilizado, se aplica la fórmula correspondiente. En esta, KAT es una constante específica que depende de la geometría y dimensiones del husillo empleado, la cual se puede encontrar en la Tabla 4.

$$\tau = KAT * \alpha \dots\dots\dots (13)$$

Graficar los datos de esfuerzo de corte (τ) y velocidad de rotación (N) (rpm), en una escala logarítmica (Log τ Vs Log N, si la pendiente es suficientemente cercana a la lineal, donde el coeficiente de determinación (R^2) se acerca a 1. Entonces el fluido es de tipo Ley de potencia. La pendiente de esta curva es igual al índice de comportamiento de flujo (n).

Tabla 4

*Factores de conversión para los husillos de los viscosímetros Brookfield
(bajo condiciones estándar de medición).*

Número del husillo	1	2	3	4	5	6	7
KAT	0,035	0,119	0,279	0,539	1,05	2,35	8,4
n=							
0,1	1,72	1,431	1,457	1,492	1,544	1,366	1,936
0,2	0,967	0,875	0,882	0,892	0,907	0,851	1,007
0,3	0,705	0,656	0,656	0,658	0,663	0,629	0,681
0,4	0,576	0,535	0,530	0,529	0,528	0,503	0,515
0,5	0,499	0,458	0,449	0,445	0,442	0,421	0,413
0,6 KYN	0,449	0,404	0,392	0,387	0,382	0,363	0,346
0,7	0,414	0,365	0,350	0,343	0,338	0,320	0,297
0,8	0,387	0,334	0,317	0,310	0,304	0,286	0,261
0,9	0,367	0,310	0,291	0,283	0,276	0,260	0,232
1,0	0,351	0,291	0,270	0,262	0,254	0,238	0,209

Fuente: Mitschka (1982).

Calcular los valores de la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$), a partir de la Tabla 4, utilizando el valor de KNY en función de n para cada husillo utilizado, mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{\gamma} = KNY * N \dots\dots\dots (14)$$

Para obtener las constantes reológicas (n, k) graficar los datos de velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) y esfuerzo de corte (τ), en una escala logarítmica (Log τ Vs Log $\dot{\gamma}$).



3.7. MÉTODO DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados se analizaron mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA) 8 tratamientos x 3 repeticiones; el grado de variación y diferencia significativa se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA), también, se realizaron pruebas de comparación de medias (HSD Tukey) con un valor $P < 0,05$. para las propiedades físicas, funcionales, químicas y reológicas de almidones pregelatinizados, respecto a los almidones nativos se validaron mediante una desviación estándar; los análisis estadísticos se trabajaron con el programa estadístico IBM SPSS Statistics 25 y Statgraphics centurión XVI versión 16.1.11.

Formula: de Diseño completo al azar (DCA)

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \dots\dots\dots (15)$$

Donde:

- Y_{ij} : Es una observación en la j-ésimo experimental, sujeto al i-ésimo tratamiento.
- μ : Es el efecto de la media general o constante común.
- τ_i : Es el efecto del i-ésimo tratamientos.
- ϵ_{ij} : Efecto del error experimental.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de propiedades físicas y funcionales

4.1.1. Evaluación de distribución de tamaño de partícula (DTP)

Los valores obtenidos en DTP de los almidones pregelatinizados (APG) y el nativo (AN) de las dos variedades de mashua analizados se presentan en las Tablas 5 y 6. El ANOVA y las pruebas de comparación de medias se presentan en los Anexo 1 y 2.

En la Tabla 5, se observa que la mayoría de los almidones pasa a través de todas las mallas y se acopian en la base ($< 75 \mu\text{m}$), dentro del cual, el almidón nativo de variedad amarilla presentó el mayor porcentaje con 48,93 % de partícula retenida, en comparación con los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8 que corresponden a los pregelatinizados, estos ocho tratamientos difieren entre sí (Anexo 1), presentaron un menor porcentajes de partícula retenida que el nativo, dentro del cual, T1 y T3 son los tratamientos que presentan menor porcentaje de partícula retenida con 33,90 % y 32,54 % respectivamente. Por otro lado, T5 retiene un mayor porcentaje de partículas en comparación con otros tratamientos de almidones pregelatinizados, pero aún menos que el almidón nativo.

Tabla 5

Distribución del tamaño de partícula del almidón nativo y los tratamientos de almidones pregelatinizados de mashua de la variedad amarilla.

Almidón de mashua amarilla	% almidón de mashua retenido en cada malla				
	Malla N° 80 (180 µm)	Malla N° 100 (150 µm)	Malla N° 140 (106 µm)	Malla N° 200 (75 µm)	Base (< 75µm)
Nativo	0,48 ± 0,03	6,86 ± 0,70	8,83 ± 0,92	24,41 ± 0,09	48,93 ± 0,62
T1	1,89 ^d ± 0,39	10,40 ^b ± 0,12	17,44 ^{cd} ± 0,13	23,03 ^a ± 1,81	33,90 ^{ab} ± 2,76
T2	1,71 ^{cd} ± 0,18	15,17 ^c ± 1,45	13,92 ^{abc} ± 0,14	20,74 ^a ± 1,65	38,39 ^c ± 1,39
T3	1,53 ^{bcd} ± 0,22	12,30 ^b ± 0,71	20,37 ^d ± 0,31	31,99 ^c ± 2,03	32,54 ^a ± 0,29
T4	1,51 ^{bcd} ± 0,40	7,60 ^a ± 0,75	16,73 ^{cd} ± 0,11	27,40 ^b ± 0,79	40,07 ^{cd} ± 0,01
T5	0,73 ^a ± 0,02	10,72 ^b ± 0,23	15,87 ^{bc} ± 0,59	23,21 ^a ± 0,26	44,12 ^d ± 1,47
T6	0,77 ^a ± 0,06	10,38 ^b ± 0,94	12,63 ^{ab} ± 1,03	21,08 ^a ± 0,42	39,19 ^c ± 1,73
T7	1,09 ^{abc} ± 0,05	6,49 ^a ± 0,34	10,75 ^a ± 2,64	32,73 ^c ± 0,90	37,44 ^{bc} ± 0,89
T8	1,05 ^{ab} ± 0,02	6,13 ^a ± 0,04	11,42 ^a ± 2,46	37,49 ^d ± 0,57	37,57 ^{bc} ± 1,35

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según pruebas HSD Tukey (p < 0.05).

Asimismo, en la Tabla 6, se observa que la mayoría de los almidones pasa a través de todas las mallas y se acopian en la base (< 75 µm), dentro del cual, el almidón nativo de variedad negra presentó un porcentaje de 34,53 % de partícula retenida. Mientras que en comparación con los otros tratamientos se observa que, los tratamientos T5 y T6 presentan porcentajes similares al nativo con 31,62 % y 35,19 % respectivamente. Asimismo, estos ocho tratamientos presentan diferencias significativas (p < 0,05) (Anexo 2) entre sí. Por otro lado, T3 y T4 son los tratamientos que presentan un menor porcentaje de partícula retenida con 26,96 % y 25,27 % respectivamente, mientras que el tratamiento T8 presentó un mayor porcentaje de partícula retenida con 58,65 %.

Tabla 6

Distribución del tamaño de partícula del almidón nativo y los tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua de la variedad negra.

Almidón de mashua negra	% almidón de mashua retenido en cada malla				
	Malla N° 80 (180 µm)	Malla N° 100 (150 µm)	Malla N° 140 (106 µm)	Malla N° 200 (75 µm)	Base (<75µm)
Nativo	2,29 ± 1,21	27,53 ± 0,91	16,31 ± 1,41	19,17 ± 1,59	34,53 ± 1,75
T1	0,85 ^a ± 0,36	12,35 ^{cd} ± 1,92	13,70 ^b ± 1,00	20,60 ^b ± 2,15	42,73 ^b ± 0,66
T2	1,50 ^a ± 0,94	16,28 ^{de} ± 2,96	15,59 ^b ± 1,44	19,36 ^{ab} ± 1,93	39,06 ^{ab} ± 1,39
T3	1,57 ^a ± 0,96	16,44 ^{de} ± 1,53	20,80 ^{cd} ± 2,14	26,65 ^{cd} ± 2,87	26,96 ^{cd} ± 0,89
T4	1,89 ^a ± 0,74	18,22 ^e ± 1,24	23,67 ^d ± 0,53	26,79 ^d ± 0,70	25,27 ^d ± 0,27
T5	1,88 ^a ± 0,20	13,49 ^{cd} ± 1,45	19,92 ^c ± 1,25	21,66 ^{bcd} ± 1,76	31,62 ^{bcd} ± 1,58
T6	0,79 ^a ± 0,20	11,41 ^{bc} ± 1,38	16,39 ^b ± 1,23	21,53 ^{bc} ± 1,04	35,19 ^{bc} ± 1,52
T7	1,32 ^a ± 0,07	6,28 ^a ± 0,30	8,39 ^a ± 0,19	24,53 ^{bcd} ± 1,55	47,67 ^{bcd} ± 2,02
T8	1,70 ^a ± 0,03	7,03 ^{ab} ± 0,07	9,13 ^a ± 0,04	14,11 ^a ± 2,00	58,65 ^a ± 1,65

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según pruebas HSD Tukey ($p < 0.05$).

Los almidones pregelatinizados y nativo de las dos variedades de mashua medido a partir de la utilización de tamices, presentaron en su mayoría un porcentaje en tamaño de partícula $< 75 \mu\text{m}$, acorde con esto, las fichas técnicas elaboradas para almidones comerciales indican que la mayoría de las partículas de almidón deben atravesar la malla n° 100, es decir, presentar tamaños menores a $150 \mu\text{m}$. Por otro lado, la Norma Técnica Peruana (NPT) 209.077: 1974 (revisada el 2018) indica que estas deben atravesar la malla N°80 con un tamaño de $180 \mu\text{m}$, en la determinación de tamaño de partícula para almidones y féculas. Al igual que la Norma Técnica Peruana (NPT) 209.064: 1974 (revisada el 2013) para almidón de maíz no modificado de uso alimenticio y farmacéutico, indica que, en la determinación de tamaño de partícula para almidones estas deben pasar a través de la malla N°80 y N°100 con un mínimo de 99,9 % y 97 %, respectivamente.



Referente a los resultados, se observa que el tratamiento T5 de la variedad amarilla (44,12 %) y los tratamientos T5 y T6 de la variedad negra (31,62 % y 35,19 %, respectivamente) presentaron porcentajes similares al almidón nativo. En comparación con este, los demás tratamientos mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$). Además, se constató que la mayoría de las partículas de almidón, tanto nativas como pregelatinizadas, en ambas variedades de mashua, presentan un mayor porcentaje con un tamaño menor a 75 μm .

Surco (2004), determinó que el almidón de mashua presenta un tamaño promedio de 10 μm con una forma globular, menores a los almidones de oca (30 μm) y el de olluco (15 μm). Estos resultados se obtuvieron utilizando un microscopio óptico con una cámara fotográfica incorporada (20x, 40x y 100x). Por su parte, Daza et al., (2022) reportaron tamaños de partícula en un rango de 4,62 μm a 53,3 μm para almidones de cubio, Asimismo, Grados & Gutiérrez (2010), determinaron un tamaño promedio entre 9,42 μm y 16,92 μm para almidones de mashua. También, Hermosa (2013) utilizando un microscopio electrónico de barrido, determinó que los gránulos de almidón de mashua presentan tamaños promedio entre 5,60 y 26,32 μm .

En contraste con los resultados obtenidos, la mayoría de los almidones nativos y pregelatinizados de ambas variedades superan en gran medida el tamiz de malla n.º 200 (75 μm), acumulándose en la base del tamiz. Esto confirma que el tamaño de partícula de los almidones es menor a 75 μm , lo cual concuerda con las referencias citadas en la discusión y con las Normas Técnicas Peruanas.

Al comparar los almidones nativos con los ocho tratamientos de almidones pregelatinizados en estudio, se observa que el almidón nativo de la variedad



amarilla presenta un mayor porcentaje de partículas finas en comparación con los almidones pregelatinizados de la misma variedad, que tienden a generar partículas más gruesas. Esta diferencia es debido a que el tamaño del almidón puede aumentar al someterse a un proceso de pregelatinización, como consecuencia de la modificación física de la estructura interna de los gránulos, lo que facilita la absorción de agua y provoca su expansión. Sin embargo, este aumento no se debe a la formación de nuevos gránulos, sino a la alteración física y estructural de los existentes. Además, al exponerse a temperaturas y tiempos específicos, algunos gránulos pueden fragmentarse en partes más pequeñas, lo que podría resultar en una mezcla de partículas más grandes y más pequeñas (Manrique, 2006). Por otro lado, el tratamiento T5 presenta partículas más finas que los otros tratamientos de almidones pregelatinizados.

Sin embargo, tras el proceso de pregelatinización, el tamaño de las partículas de la variedad negra se vuelve más fino que el de su almidón nativo, esto puede ser debido a la fragmentación del granulo del almidón como consecuencia del proceso hidrotérmico de pregelatinización, con excepción de los tratamientos T3 y T4, donde las partículas son más gruesas. Por otro lado, el tratamiento T5 muestra un tamaño de partícula similar al almidón nativo de la misma variedad.

En ese contexto, el tamaño de las partículas de almidón depende principalmente de la genética de la planta, las condiciones de cultivo, el grado de maduración y los métodos de extracción. El tamaño de las partículas afecta sus propiedades funcionales: las partículas más pequeñas son resistentes a altas temperaturas como la esterilización, forman geles con mayor firmeza (Apaza, 2018).

4.1.2. Caracterización del rendimiento de extracción

En la Tabla 7, se observa que para el almidón nativo de dos variedades de mashua amarilla y negra, el mayor porcentaje de rendimiento de almidón nativo se dio en la variedad amarilla, el cual presentó 4,22 % de rendimiento de almidón nativo, el cual difiere significativamente ($p < 0,05$) (Anexo 3), en comparación con el almidón nativo de variedad negra con 2,88 % de rendimiento de almidón.

Tabla 7

Porcentaje de rendimiento de los almidones nativos de mashua amarilla y negra.

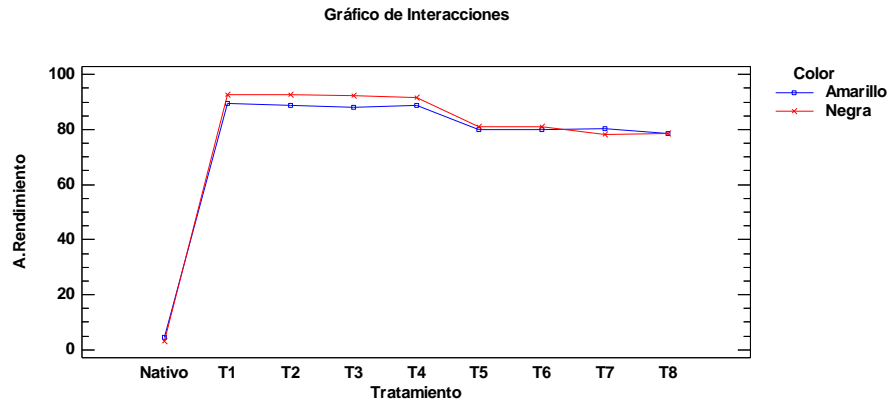
ALMIDÓN	NATIVO
AMARILLA	4,22 ± 0,10
NEGRA	2,88 ± 0,02

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según pruebas HSD Tukey ($p < 0.05$).

En la Figura 10, se observa un comportamiento similar en ambas variedades, en la cual, la mashua negra tiende a tener un rendimiento ligeramente superior comparado con la mashua amarilla a través de todos los tratamientos. Esto sugiere que la variedad negra podría ser más eficiente en términos de rendimiento del almidón cuando se somete a pregelatinización.

Figura 10

Interacciones entre tratamientos del rendimiento de almidones nativos y pregelatinizados de dos variedades de mashua amarilla y negra.

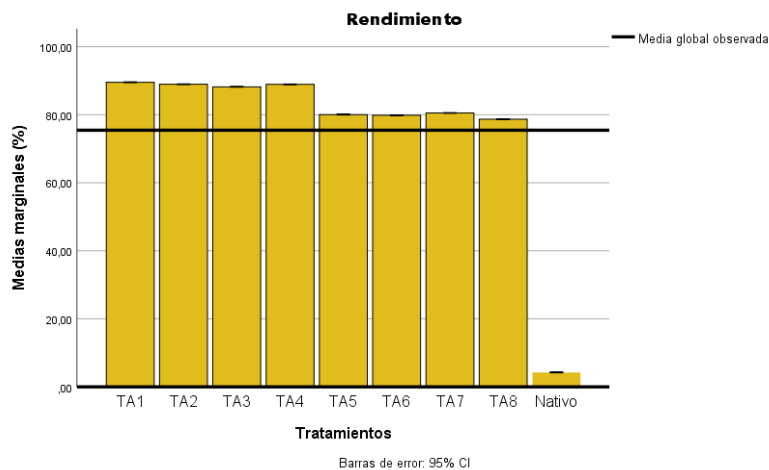


Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en las Figuras 10, 11 y 12, se observa que los tratamientos T1, T2, T3 y T4 presentaron un rendimiento ligeramente superior en comparación con los tratamientos T5, T6, T7 y T8 en ambas variedades.

Figura 11

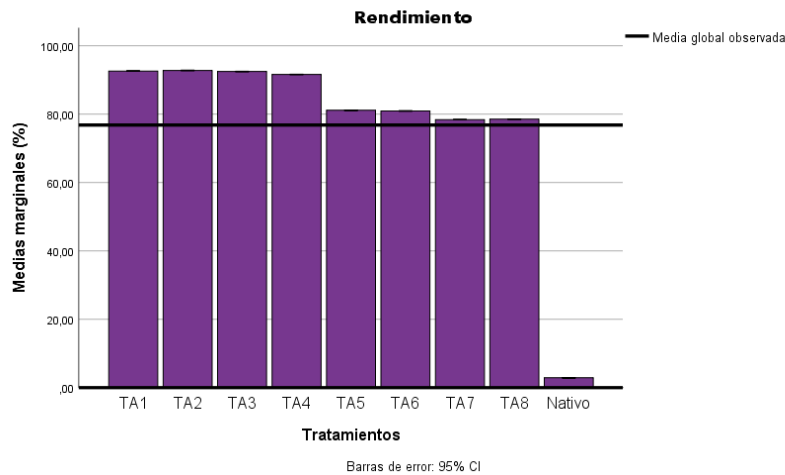
Medias marginales estimadas del rendimiento de almidón de mashua amarilla.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12

Medias marginales estimadas del rendimiento de almidón de mashua negra.



Fuente: Elaboración propia.

Referente a los resultados encontrados, el porcentaje de rendimiento de almidón nativo de mashua amarilla fue de 4,22 % y negra fue de 2,88 %. Surco (2004), determinó un rendimiento de almidón de mashua amarilla de 2,20 %. Hermosa (2013), determinó un valor de 3,65 % para la misma variedad. Posteriormente, Martínez & Sánchez (2020), encontraron un rendimiento de 3,35 % en mashua amarilla.

Esta diferencia en los resultados obtenidos se debe a factores como la tecnología de extracción, el tamaño y la forma del tubérculo, así como su madurez (Martínez & Sánchez, 2020). También, Bustincio (2014), indica que la variación puede estar relacionada con el origen, el período vegetativo, la variedad, los factores climatológicos y el método de extracción. Asimismo, Hermosa (2013), señala que el rendimiento está influenciado por el tamaño del tubérculo o raíz.

4.1.3. Evaluación de las propiedades funcionales

Los valores obtenidos de CAA y PH de los almidones nativos amarilla y negra, incrementaron a medida que la temperatura aumentaba, en ISA los valores fueron variantes. Respecto a la CAA, ISA y PH de los tratamientos de almidones pregelatinizados (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8) de dos variedades de mashua, evaluados a diferentes temperaturas de calentamiento, difieren significativamente ($p < 0,05$) entre sí (Anexo 6 y 7). En las Tablas 8 y 9 para CAA se observa que, los valores incrementan a medida que la temperatura ascendía en almidones pregelatinizados al igual que el nativo para ambas variedades.

Tabla 8

Resultados de Capacidad de Absorción de Agua del almidón nativo y para tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua amarilla.

Tratamientos de almidón de mashua amarilla	Capacidad de absorción de agua			
	45°C	55°C	65°C	75°C
Nativo	1,67 ± 0,74	6,48 ± 0,33	14,19 ± 0,07	18,11 ± 0,05
T1	2,38 ^b ± 0,01	6,17 ^{ab} ± 0,01	17,09 ^d ± 0,38	20,47 ^d ± 0,87
T2	1,82 ^a ± 0,04	6,30 ^{ab} ± 0,81	16,91 ^d ± 0,54	17,94 ^c ± 0,10
T3	3,26 ^c ± 0,32	6,57 ^b ± 0,35	8,03 ^b ± 0,13	10,35 ^a ± 0,02
T4	3,46 ^c ± 0,18	6,54 ^b ± 0,02	10,92 ^c ± 0,04	14,04 ^b ± 0,13
T5	2,31 ^b ± 0,05	6,53 ^b ± 0,01	17,21 ^d ± 0,26	21,96 ^e ± 0,01
T6	4,09 ^d ± 0,05	6,43 ^b ± 0,29	7,34 ^{ab} ± 0,13	9,73 ^a ± 0,02
T7	4,27 ^{de} ± 0,19	6,61 ^b ± 0,01	8,17 ^b ± 0,62	10,59 ^a ± 0,20
T8	4,67 ^e ± 0,06	5,37 ^a ± 0,18	7,01 ^a ± 0,01	10,12 ^a ± 0,47

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según HSD Tukey ($p < 0.05$).

Tabla 9

Resultados de Capacidad de Absorción de Agua del almidón nativo y para tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua negra.

Tratamientos de almidón de mashua negra	Capacidad de absorción de agua			
	45°C	55°C	65°C	75°C
Nativo	2,30 ± 0,01	6,34 ± 0,07	19,31 ± 0,10	20,63 ± 0,16
T1	2,95 ^a ± 0,63	5,59 ^a ± 0,71	15,78 ^e ± 0,18	21,58 ^d ± 0,01
T2	2,60 ^a ± 0,39	7,05 ^{ab} ± 0,94	11,08 ^c ± 0,07	22,67 ^d ± 0,18
T3	3,01 ^a ± 0,02	6,88 ^{ab} ± 0,72	12,98 ^d ± 0,01	21,42 ^d ± 0,01
T4	3,08 ^a ± 0,02	7,46 ^b ± 0,03	16,32 ^e ± 0,02	18,90 ^c ± 0,03
T5	3,05 ^a ± 0,01	7,41 ^b ± 0,02	21,05 ^f ± 0,03	24,91 ^e ± 0,11
T6	2,63 ^a ± 0,07	7,07 ^b ± 0,48	20,32 ^f ± 0,55	21,78 ^d ± 0,01
T7	4,59 ^b ± 0,44	6,70 ^{ab} ± 0,14	9,91 ^b ± 0,01	12,81 ^b ± 1,41
T8	5,12 ^b ± 0,84	6,84 ^{ab} ± 0,01	8,04 ^a ± 0,44	8,37 ^a ± 0,34

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según HSD Tukey ($p < 0.05$).

El valor de la CAA para almidones nativos se encontró los valores de 14,19 g gel/g (amarilla) y 19,31 g gel/g (negra) a 65 °C, mientras que a 75 °C se encontró los valores de 18,11 g gel/g y 20,63 g gel/g para la variedad amarilla y negra respectivamente, presentando el almidón de la variedad amarilla el valor más bajo, mientras que el valor más alto lo presentó el almidón nativo de la variedad negra. En comparación con los almidones pregelatinizados a 75 °C, los valores estuvieron entre 9,73 g gel/g a 21,96 g gel/g y entre 8,37 g gel/g a 24,91 g gel/g de las variedad amarilla y negra respectivamente, presentando el valor más bajo los tratamientos T6 y T8 para la variedad amarilla y negra respectivamente, mientras que el valor más alto lo presentó el tratamiento T5 para ambas variedades. Similares valores obtuvieron: Martínez & Sánchez, (2020), reportaron un valor de 14,60 g gel/g a 60 °C para almidón nativo amarilla y 15,52 g gel/g para almidón modificado de mashua amarilla, valor que es similar a los encontrados en un rango de 7,01 g gel/g a 17,21 g gel/g para los almidones

pregelatinizados a 65 °C; asimismo Arroyo & Balcazar (2023), reportaron el valor de 12,21 g gel/g a 60 °C para almidón nativo amarillo. De igual manera Quispe (2018), reportó una media de 27,73 g gel/g para almidones nativo de la variedad amarilla, mientras que para la variedad negra encontró una media 28,73 g gel/g a 60 °C, en la cual la variedad amarilla presenta el valor más bajo en comparación con la variedad negra.

En las Tablas 10 y 11 para ISA se observa que, los valores son variables de acuerdo a la temperatura (45°C – 75 °C) experimental, para almidones pregelatinizados y nativo de ambas variedades.

Tabla 10

Resultados de Índice de Solubilidad de Agua del almidón nativo y para tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua amarilla.

Tratamientos de almidón de mashua amarilla	Índice de solubilidad de agua			
	45 °C	55 °C	65 °C	75 °C
Nativo	32,00 ± 1,80	22,33 ± 1,04	52,33 ± 0,76	42,83 ± 0,29
T1	35,17 ^e ± 0,76	34,67 ^d ± 0,76	40,33 ^a ± 0,76	42,83 ^a ± 1,53
T2	13,33 ^a ± 0,76	29,17 ^c ± 0,76	45,50 ^{bc} ± 1,00	51,67 ^b ± 1,26
T3	38,33 ^e ± 1,53	31,67 ^{cd} ± 0,76	42,50 ^{ab} ± 1,00	40,17 ^a ± 1,26
T4	26,67 ^c ± 1,26	47,00 ^e ± 1,32	46,50 ^{cd} ± 1,00	57,17 ^c ± 1,26
T5	31,17 ^d ± 0,76	22,17 ^b ± 1,26	46,33 ^c ± 2,02	42,70 ^a ± 1,00
T6	50,17 ^f ± 1,26	17,17 ^a ± 1,26	47,67 ^{cd} ± 1,53	43,17 ^a ± 1,26
T7	26,33 ^c ± 1,53	46,83 ^e ± 1,61	47,33 ^{cd} ± 1,04	56,83 ^c ± 1,04
T8	22,83 ^b ± 1,04	32,67 ^d ± 1,26	50,00 ^d ± 1,32	42,67 ^a ± 0,76

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según HSD Tukey ($p < 0.05$).

Tabla 11

Resultados de Índice de Solubilidad de Agua del almidón nativo y para tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua negra.

Tratamientos de almidón de mashua negra	Índice de solubilidad de agua			
	45 °C	55 °C	65 °C	75 °C
Nativo	41,50 ± 1,50	26,00 ± 0,50	49,67 ± 0,76	48,33 ± 0,76
T1	35,67 ^d ± 1,26	31,50 ^{bc} ± 1,00	52,33 ^{ab} ± 1,76	44,67 ^b ± 0,76
T2	53,00 ^e ± 1,32	37,67 ^e ± 1,53	57,83 ^c ± 1,53	45,83 ^{bc} ± 0,76
T3	26,33 ^b ± 2,02	32,00 ^{cd} ± 1,80	47,17 ^a ± 2,08	52,50 ^{de} ± 1,00
T4	32,50 ^{cd} ± 1,50	27,00 ^{ab} ± 1,50	50,50 ^{ab} ± 3,50	54,50 ^e ± 1,32
T5	28,67 ^{bc} ± 1,89	25,17 ^a ± 0,76	48,40 ^{ab} ± 0,79	48,00 ^c ± 1,00
T6	27,50 ^b ± 1,00	36,33 ^{de} ± 2,93	49,83 ^{ab} ± 1,04	51,33 ^d ± 1,26
T7	35,00 ^d ± 0,50	35,83 ^{cde} ± 0,76	52,67 ^{bc} ± 0,76	39,33 ^a ± 0,76
T8	20,33 ^a ± 0,76	48,00 ^f ± 1,32	52,83 ^{bc} ± 1,76	57,83 ^f ± 0,76

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según HSD Tukey ($p < 0.05$).

El porcentaje de ISA a 75 °C, se obtuvo un valor de 42,83 % y 48,33 % para almidones nativos de la variedad amarilla y negra respectivamente, siendo el valor del almidón nativo amarillo el que presentó el valor más bajo, mientras que el almidón nativo de la variedad negra presentó el valor más alto. En comparación con el porcentaje de ISA para los tratamientos de los almidones pregelatinizados a 75 °C, presentan valores similares en un rango de 40,17 % a 57,57 % y 39,33 % a 57,83 % de la variedad amarilla y negra respectivamente, siendo el valor del almidón T3 (amarillo) y T7 (negro) el que presentó el valor más bajo, mientras que el almidón T4 (amarillo) y T8 (negro) presentaron el valor más alto de ISA. Superiores al reporte de Quispe (2018), siendo estos 8,44 % y 18,02 % a 60 °C, para almidones nativos de la variedad amarilla y negra respectivamente. De igual manera Hermosa (2013), reportó valores de 14,48 %; 17,89 % y 21,16 % de solubilidad para almidón nativo de mashua amarilla a diferentes temperaturas 60 °C, 70 °C y 80 °C respectivamente. Asimismo, Martínez & Sánchez (2020),

reportaron valores de 14,59 % para almidón nativo y 16,13 % para almidón modificado de mashua amarilla a 60 °C. Sin embargo los valores encontrados son similares al reporte de Grados & Gutiérrez (2010), encontró en un rango de 13,60 % a 40,86 % y 12,18 % a 41,59 % para almidones de mashua de la variedad amarilla provenientes de Cajamarca y la libertad (de 60 °C a 90 °C), las cuales van aumentando a medida que incrementa la temperatura, pero a 70 °C y 75 °C el ISA disminuye su porcentaje e incrementa nuevamente hasta llegar a los 90 °C, comportamiento similar presentan los almidones de la variedad amarilla y negra en esta investigación. En las Tablas 12 y 13 se observa que, existe un incremento de los valores a medida que ascendía la temperatura de 45 °C hasta 75 °C, para ambas variedades.

Tabla 12

Resultados de Poder de Hinchamiento del almidón nativo y para tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua amarilla.

Tratamientos de almidón de mashua amarilla	Poder de hinchamiento			
	45 °C	55 °C	65 °C	75 °C
Nativo	2,48 ± 1,15	8,34 ± 0,31	29,78 ± 0,60	31,68 ± 0,24
T1	3,67 ^b ± 0,05	9,45 ^{bc} ± 0,12	28,64 ^c ± 0,38	35,85 ^{cd} ± 2,49
T2	2,10 ^a ± 0,02	8,90 ^{abc} ± 1,23	31,04 ^{cd} ± 1,51	37,13 ^d ± 0,77
T3	5,29 ^{cd} ± 0,61	9,61 ^c ± 0,55	13,96 ^a ± 1,33	17,30 ^a ± 0,38
T4	4,72 ^c ± 0,20	12,34 ^d ± 0,32	20,42 ^b ± 0,45	33,17 ^c ± 1,10
T5	3,36 ^b ± 0,11	8,39 ^{abc} ± 0,15	32,10 ^d ± 1,40	38,19 ^d ± 0,68
T6	8,21 ^e ± 0,31	7,76 ^a ± 0,33	14,04 ^a ± 0,63	17,13 ^a ± 0,39
T7	5,80 ^d ± 0,38	12,43 ^d ± 0,38	15,52 ^a ± 1,39	24,55 ^b ± 0,67
T8	6,05 ^d ± 0,09	7,97 ^{ab} ± 0,20	14,02 ^a ± 0,39	17,66 ^a ± 1,02

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según HSD Tukey ($p < 0.05$).

Tabla 13

Resultados de Poder de Hinchamiento del almidón nativo y para tratamientos de los almidones pregelatinizados de mashua negra.

Tratamientos de almidón de mashua negra	Poder de hinchamiento			
	45 °C	55 °C	65 °C	75 °C
Nativo	3,93 ± 0,08	8,57 ± 0,12	38,36 ± 0,50	39,93 ± 0,89
T1	4,58 ^{ab} ± 0,92	8,16 ^a ± 1,08	33,13 ^d ± 1,29	39,00 ^b ± 0,52
T2	5,54 ^{bc} ± 1,00	11,32 ^{bc} ± 1,57	26,29 ^c ± 0,88	41,87 ^{bcd} ± 0,92
T3	4,08 ^{ab} ± 0,14	10,13 ^{ab} ± 1,17	24,58 ^{bc} ± 0,99	45,12 ^{de} ± 0,96
T4	4,57 ^{ab} ± 0,11	10,22 ^{ab} ± 0,25	33,09 ^d ± 2,48	41,56 ^{bc} ± 1,19
T5	4,27 ^{ab} ± 0,10	9,90 ^{ab} ± 0,12	40,80 ^e ± 0,66	47,91 ^e ± 1,00
T6	3,63 ^a ± 0,05	11,11 ^{bc} ± 0,48	40,53 ^e ± 1,60	44,76 ^{cde} ± 1,13
T7	7,06 ^c ± 0,66	10,44 ^{ab} ± 0,30	20,94 ^b ± 0,33	21,10 ^a ± 2,08
T8	6,42 ^c ± 1,00	13,16 ^c ± 0,36	17,05 ^a ± 1,04	19,87 ^a ± 1,13

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según HSD Tukey ($p < 0.05$).

El PH para almidones nativos se obtuvo un valor de 29,78 g/g (amarillo) y 38,36 g/g (negro) a una temperatura experimental de 65 °C, mientras que a 75 °C se obtuvo un valor de 31,68 g/g almidón y 39,93 g/g para la variedad amarilla y negra respectivamente, siendo el valor del almidón nativo amarillo el que presentó el valor más bajo, mientras que el almidón nativo de la variedad negra presentó el valor más alto. En comparación con almidones pregelatinizados a 75 °C, se encontró entre 17,13 g/g y 38,19 g/g y entre 19,87 g/g a 47,91 g/g de la variedad amarilla y negra respectivamente, siendo el valor del almidón T6 (amarillo) y T8 (negro) los que presentaron el valor más bajo, mientras que el almidón T5 presentó el valor más alto para ambas variedades. Similares valores obtuvieron Quispe (2018), quien reportó una media de 30,29 g/g y 39,51 g/g para almidón nativo de mashua amarilla y negra respectivamente a 60 °C. Asimismo, Grados & Gutiérrez (2010), reportaron valores entre 9,05 g/g a 34,20 g/g y entre 8,98 g/g a 32,69 g/g para almidones nativos de mashua amarilla Otuzco-la Libertad y San Marcos-

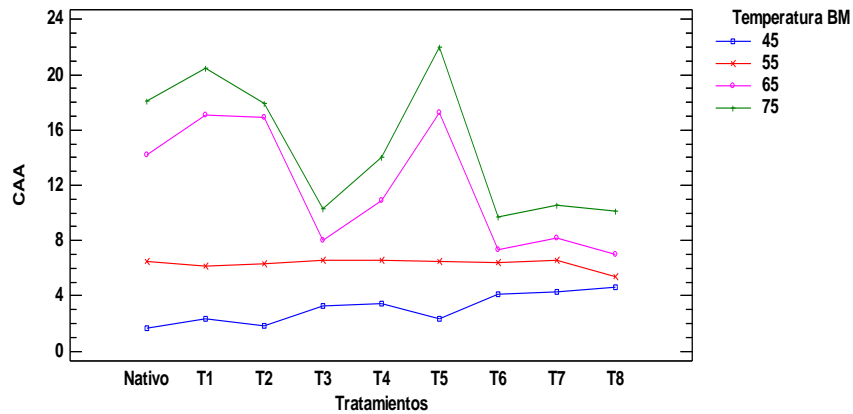


Cajamarca respectivamente, de 60 °C a 90 °C con intervalos de 5 °C. Asimismo, Hermosa (2013), reportó valores de 6,43 g/g, 11,99 g/g y 26,15 g/g de PH para almidón nativo de mashua amarilla a 60 °C, 70 °C y 80 °C respectivamente. Sin embargo, estos valores son superiores al reporte de Martínez & Sánchez (2020), siendo estos de 14,01 g/g para almidón nativo amarilla y 13,47 g/g para almidón modificado la variedad amarilla a 60 °C; al igual que Arroyo & Balcazar (2023), reportaron los valores de 12,29 g/g y 14,59 g/g de PH a 60 °C para almidones nativo de la variedad amarilla y negra respectivamente.

En las Figuras 13, 14, 15, 16, 17 y 18 se muestra el comportamiento de CAA, ISA y PH de los almidones nativos y de los tratamientos de los almidones pregelatinizados (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8) de las dos variedades de mashua (amarilla y negra) evaluados a diferentes temperaturas (de 45 °C hasta 75 °C), se observa que, a 45 °C y 55 °C los valores son constantes mientras que a 65 °C y 75 °C los valores son variables para la CAA y PH de ambas variedades, mientras que los valores para ISA evaluados de 45 °C hasta 75 °C son variables para ambas variedades.

Figura 13

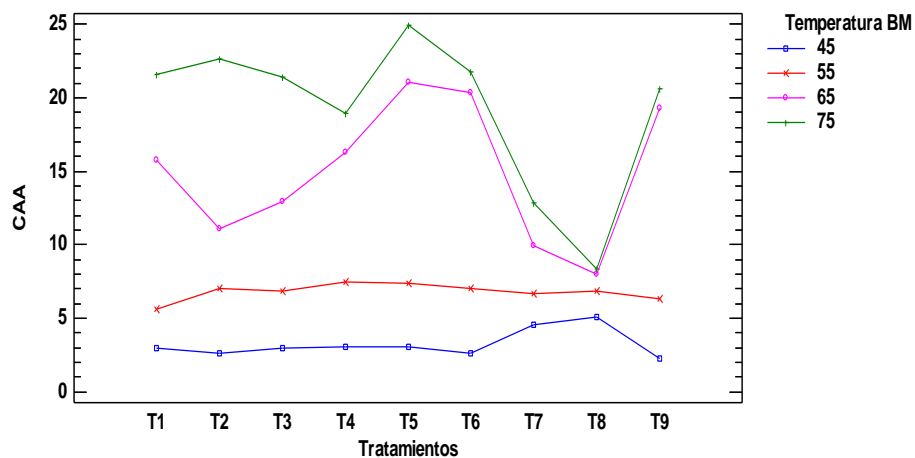
Comportamiento de la capacidad de absorción de agua (CAA) del almidón nativo y de los almidones pregelatinizados de mashua amarilla, evaluados de 45°C a 75°C.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14

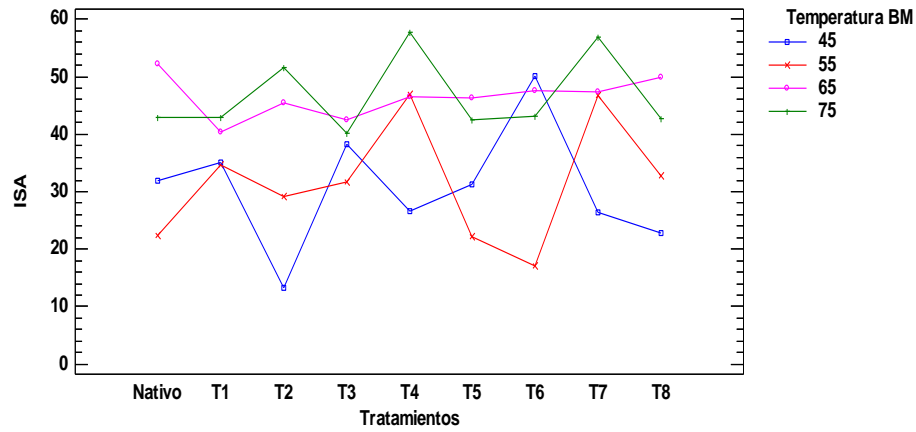
Comportamiento de la capacidad de absorción de agua (CAA) del almidón nativo y de los almidones pregelatinizados de mashua negra, evaluados de 45°C a 75°C.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

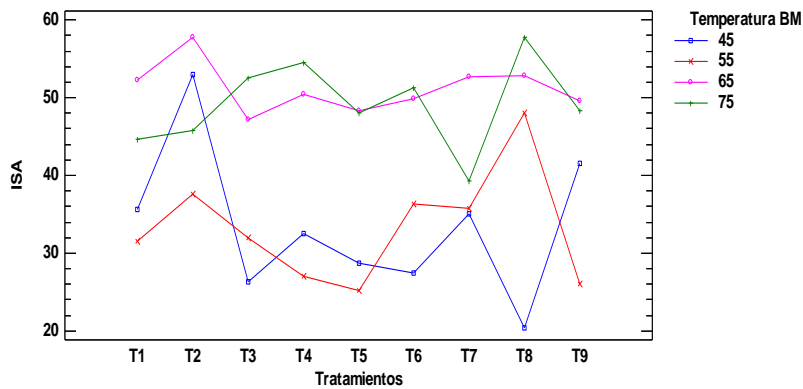
Comportamiento del índice de solubilidad de agua (ISA) del almidón nativo y de los almidones pregelatinizados de mashua amarilla, evaluados de 45°C a 75°C.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

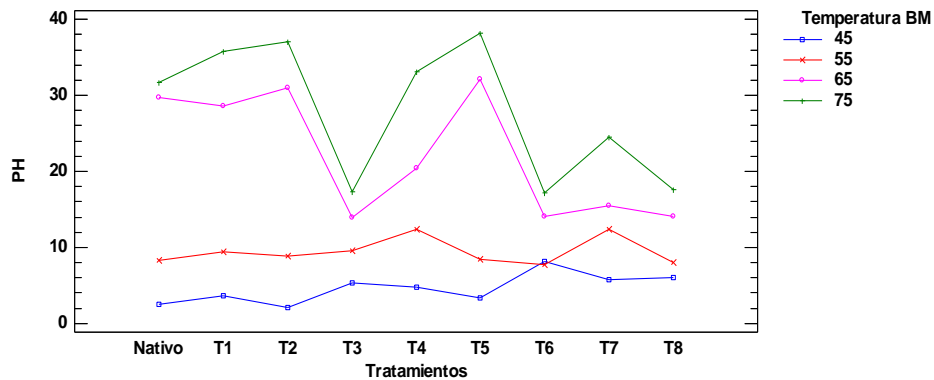
Comportamiento del índice de solubilidad de agua (ISA) del almidón nativo y de los almidones pregelatinizados de mashua negra, evaluados de 45°C a 75°C.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17

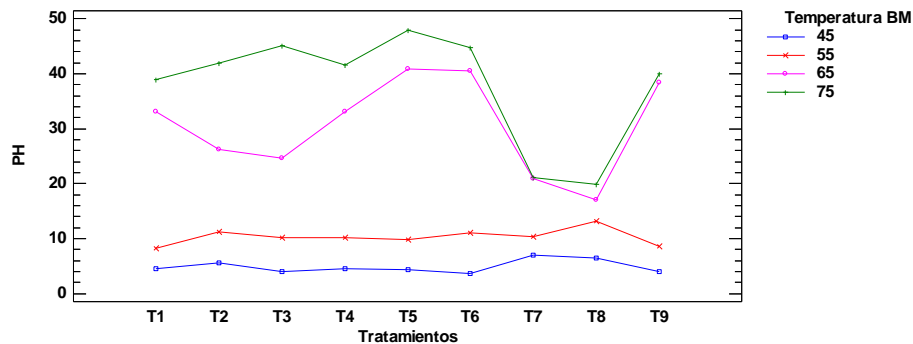
Comportamiento del poder de hinchamiento (PH) del almidón nativo y de los almidones pregelatinizados de mashua amarilla, evaluados de 45°C a 75°C.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18

Comportamiento del poder de hinchamiento (PH) del almidón nativo y de los almidones pregelatinizados de mashua negra, evaluados de 45°C a 75°C.



Fuente: Elaboración propia.

En general, tanto los almidones nativos como los tratamientos de almidones pregelatinizados de mashua mostraron un incremento en la capacidad de absorción de agua (CAA) y el poder de hinchamiento (PH) a medida que la temperatura aumentaba, mientras que el índice de solubilidad en agua (ISA) presentó valores variables. Específicamente, el tratamiento T5 destacó por



presentar un alto valor de PH y CAA. En contraste, el ISA de T5 fue bajo y similar al del almidón nativo en ambas variedades de mashua.

Las diferencias en la capacidad de absorción de agua (CAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH) de los almidones se explican por el tamaño y forma de los gránulos. Debido a que los gránulos más pequeños tienden a absorber más agua (Quispe, 2018). También, la metodología de extracción influye, aumentando la CAA debido al contenido de fibra residual (Arroyo & Balcazar, 2023). Este incremento eleva la temperatura de gelatinización y el hinchamiento, ya que gránulos más hinchados retienen más agua, dependiendo de los sólidos disueltos (Martínez & Sánchez, 2020).

A medida que aumenta la temperatura, incrementan el ISA y el PH. Los almidones con mayor contenido de amilosa muestran mayor solubilidad, ya que esta se libera del gránulo al hincharse, elevando la viscosidad del medio (Quispe, 2018; Hermosa, 2013). Además, las diferencias en el ISA entre almidones pregelatinizados y nativos pueden atribuirse al contenido de amilosa, el debilitamiento estructural por pregelatinización y factores ambientales como variedad, clima y cultivo (Arroyo & Balcazar, 2023). Según Sigala (2019), los almidones pregelatinizados presentan un ISA mayor debido a su estructura porosa, lo que facilita la absorción y dispersión en agua fría, mientras que, a altas temperaturas, la formación de una capa porosa incrementa la disolución (Velásquez, 2019).

El PH está relacionado con las fuerzas internas del gránulo. Puesto que, los gránulos con enlaces más débiles y cadenas largas de amilopectina tienden a hincharse más, especialmente a altas temperaturas (Quispe, 2018; Grados &



Gutiérrez, 2010). Asimismo, durante el calentamiento, los almidones se vuelven solubles cuando la temperatura supera la gelatinización (Muñoz et al. 2015), permitiendo la interacción del agua con los gránulos. La amilosa actúa como inhibidor del hinchamiento, mientras que lípidos y proteínas reducen el PH (Arroyo & Balcazar, 2023).

Por último, el PH está determinado por el tamaño del gránulo, especie, origen y composición del almidón, siendo la amilopectina el principal componente responsable del hinchamiento debido a su capacidad para formar enlaces de hidrógeno con el agua. Es así que, un bajo contenido de amilosa está asociado con un PH alto (Arroyo & Balcazar, 2023).

Las propiedades funcionales de los almidones dependen de la relación existente entre la amilosa/ amilopectina y composición proximal, mismas que constituyen el gránulo del almidón. Sin embargo, cambia el porcentaje de contenido de una variedad a otra siendo incluso de la misma especie botánica (Aristizábal y sanches 2007 citado por Arroyo & Balcazar, 2023). Según Anderson (1969) los almidones de buena calidad son los que presentan alta CAA y PH, pero bajo ISA y alta viscosidad. En ese contexto, el T5 (25 % humedad, 60 °C y 4 min) que es uno de los tratamientos de almidón pregelatinizado, es el que más se asemeja a ser un almidón de buena calidad.

4.2. Análisis de propiedades químicas

4.2.1. Caracterización del contenido de amilosa y amilopectina

En la Tabla 14, se presenta la relación del porcentaje de contenido de amilosa y amilopectina, de los almidones nativos y pregelatinizados T5 (25 %

humedad, 60 °C y 4 min) de ambas variedades. Este análisis se realizó posterior a los análisis del punto 4.1.3, teniendo como referencia las propiedades funcionales.

Tabla 14

Contenido de amilosa y amilopectina de los almidones nativos y pregelatinizados de dos variedades de mashua.

ALMIDÓN	% AMILOSA	% AMILOPECTINA
Nativo Amarillo	33,05 ^b ± 0,27	66,95 ^b ± 0,27
Nativo negro	31,70 ^a ± 0,34	68,30 ^c ± 0,34
Pregelatinizado amarillo	34,62 ^c ± 0,21	65,38 ^a ± 0,21
Pregelatinizado negro	34,69 ^c ± 0,69	65,31 ^a ± 0,69

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según HSD Tukey ($p < 0,05$).

El ANOVA, respecto al contenido de amilosa y amilopectina muestran valores de $p = 0,000$ (Anexo 4), indicando que difieren entre sí. También se realizó la prueba de comparación de medias Tukey, confirmando que existe diferencia significativa entre los almidones nativos y pregelatinizados (Tabla 14).

Para almidones nativos se encontró los valores de 33,05 % y 31,70 % de contenido de amilosa; 66,95 % y 68,30 % de contenido de amilopectina para la variedad amarilla y negra respectivamente, estos presentan una diferencia significativa ($p < 0,05$). Mientras que los almidones sometidos al tratamiento hidrotérmico de pregelatinización T5 (25 %, 60 °C y 4 min) de ambas variedades, presentaron valores de 34,62 % y 34,69 % de contenido de amilosa; 65,38 % y 65,31 % de contenido de amilopectina para la variedad amarilla y negra respectivamente, en la cual, los valores de los almidones pregelatinizados (T5 de ambas variedades) no difieren entre sí; mientras que los valores de los almidones nativos difieren significativamente ($p < 0,05$) (Anexo 4).



Los datos obtenidos son similares al reporte de Daza et al., (2022), quien encontró el valor de 31,2 % de contenido de amilosa para almidón nativo de cubio (mashua amarilla), siendo este similar al almidón de papa que presentó 32,1 % de contenido de amilosa. Al igual que, Grados & Gutiérrez (2010), encontraron valores similares de contenido de amilosa, siendo este, 31,67 % y 68,33 % de contenido de amilopectina para el almidón de mashua proveniente de Cajamarca; asimismo reportaron valores de 30.067 % de amilosa y 69.933 % de amilopectina para el almidón de mashua proveniente de la Libertad. Robalino (2023), reportó un valor de 35,04 % de contenido de amilosa para almidón de mashua amarilla y 35,69 % de contenido de amilosa para yuca, siendo este similar al contenido de amilosa de almidones pregelatinizados de mashua negra.

Por otro lado, los valores obtenidos son inferiores al reporte de Ávila (2022), quien encontró valores de 47,41 % y 52,59 % de contenido de amilosa y amilopectina respectivamente en almidón de mashua amarilla. Pero estos valores encontrados son superiores al reporte de Velásquez & Velezmoro (2018), quienes encontraron el valor de 26,13 % de contenido de amilosa y 73,87 % de contenido de amilopectina en almidones de mashua provenientes del distrito de Paucara - Huancavelica. Al igual que Surco (2004), encontró valores de 27 % y 73 % contenido de amilosa y amilopectina respectivamente, para almidón nativo de mashua amarilla, mientras que para almidón nativo de oca fue 29 % y 71 % respectivamente, y para almidón nativo de olluco fue 26 % y 74 % respectivamente. También Pacheco (2019), reportó valores de 27,44 % y 26,49 % de contenido de amilosa para almidón de mashua y melloco. Pero Quispe (2018), reportó valores de 24.16 % de amilosa y 75.84 % de amilopectina para almidón de mashua negra, mientras que para almidón de mashua amarilla fue 23,58 % de



amilosa y 76,42 % de amilopectina, explica que, esta diferencia del contenido entre estos dos polímeros se debe a la fuente biológica de donde provienen los almidones.

Referente a los resultados obtenidos y en contraste con los autores en discusión, la diferencia de los valores de amilosa y amilopectina, depende de varios factores, se debe principalmente a la genética de la planta y condiciones de cultivo, el tamaño y la forma del tubérculo, proceso de maduración (Martínez & Sánchez, 2020). Asimismo, Bustincio (2014), indica que la especie botánica influye en la relación de amilosa y amilopectina, el período vegetativo, la variedad, y el método de extracción,

En general, la relación de amilosa y amilopectina dependen fuertemente de su origen botánico. Según Ávila (2022), los almidones se pueden clasificar en función al contenido de amilosa céreos (alrededor de 1 % de amilosa), almidones normales (15 al 30 % de amilosa) y almidones altos (alrededor del 50 %), por otro lado, nos dice que la amilosa y la amilopectina se encargan de darle las características funcionales y reológicas a los almidones. Dentro de este contexto se puede afirmar que los almidones nativos y pregelatinizados de dos variedades de mashua se encuentran dentro de la clasificación almidones normales con tendencia a almidones altos, por consiguiente, al ser ricos en amilopectina y amilosa, podrían presentar alta viscosidad cuando se gelatinizan, durante el enfriamiento son susceptibles a retrogradación y pueden experimentar sinéresis durante el enfriamiento y almacenamiento a largo plazo.

Arone (2019) al igual que Daza et al. (2022), nos dicen que el contenido de amilosa está relacionado con las propiedades funcionales, un alto contenido de



amilosa promueve la retrogradación, formando una estructura organizada. También Hoover & Ratnayake (2001), indican que la relación de amilosa y amilopectina, proporcionan propiedades funcionales definitivas en los alimentos, la amilosa se caracteriza porque favorece la retrogradación de los geles durante el enfriamiento, ocasionando sinéresis, mientras que la amilopectina presenta pastas espesas que no se retrogradan al enfriarse. Asimismo, Martínez & Sánchez (2020), dicen que la relación de amilosa y amilopectina influyen en las propiedades de gelatinización, retrogradación, absorción y viscosidad.

El contenido de estos dos componentes son determinantes en las características estructurales y funcionales de los almidones, es decir, un almidón con alto contenido de amilosa son resistentes a la cocción, a razón de su naturaleza cristalina, solo sufren el fenómeno de hinchamiento a temperatura elevada y si esta se mantiene moderada no presenta aumento de viscosidad, algo similar sucede con el proceso de gelatinización, dado que a concentraciones altas de amilosa elevan la temperatura de gelatinización, concluyendo que ambos polímeros (amilosa y amilopectina) son importantes en la funcionalidad del almidón, condicionando a que puedan ser agregados aun alimento específico en la industria, así como influir en la viscosidad, gelatinización, manejo de texturas, solubilidad, estabilidad del gel e hinchabilidad y retrogradación (Grados & Gutiérrez, 2010).

4.2.2. Caracterización de la composición proximal

En la Tabla 15, se presenta la composición proximal de almidones nativos y de los almidones pregelatinizados T5 (25 % humedad, 60 °C y 4 min) de ambas variedades, este análisis se realizó posterior a los análisis del punto 4.1.3 como referente al mejor tratamiento según las propiedades funcionales de ambas variedades de mashua.

Tabla 15

Composición proximal de almidones nativos y pregelatinizados de dos variedades de mashua.

ALMIDON	% HUMEDAD	% CENIZAS	% GRASA	% PROTEINAS
Nativo Amarillo	12,22 ^b ± 0,0013	0,47 ^a ± 0,029	0,21 ^a ± 0,009	0,31 ^a ± 0,062
Nativo negro	11,60 ^a ± 0,0006	0,53 ^b ± 0,014	0,71 ^b ± 0,002	0,30 ^a ± 0,073
Pregelatinizado amarillo	12,09 ^b ± 0,0028	0,71 ^c ± 0,016	1,13 ^d ± 0,007	0,36 ^a ± 0,008
Pregelatinizado negro	12,12 ^b ± 0,0005	0,70 ^c ± 0,012	1,06 ^c ± 0,028	0,34 ^a ± 0,128

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según HSD Tukey ($p < 0.05$).

El ANOVA, respecto al porcentaje de composición proximal muestra valores de $p = 0,008$ para humedad, $p = 0,000$ para cenizas, $p = 0,000$ para grasa y para proteínas indican que los almidones nativos y pregelatinizados no presentan diferencia significativa siendo $p > 0,05$ (Anexo 5).

El porcentaje de humedad en almidones nativos y pregelatinizados (T5) se encontraron entre 11,60 % a 12,22 % para la variedad amarilla y negra respectivamente. Ávila (2022), determinó un valor de 16,28 % para almidón nativo de mashua amarilla, Daza et al. (2022), reportó un valor de 8,20 % para almidón de cubio y 15,91 % para almidón de papa, asimismo Robalino (2023), reportó un valor de 10,1 % de humedad para almidones nativos de mashua



amarilla y 12,3 % para almidón de yuca, también Surco (2004), reportó valores de 11,80 %; 11,08 % y 10,13 % de humedad para almidones nativos de mashua, oca y olluco respectivamente. Hermosa (2013), reportó un valor de 10,70 % de humedad para almidones nativos de mashua amarilla y 11,24 % para almidón de oca. Esta diferencia de valores puede ser debido a las condiciones de secado y proceso de pregelatinización. Al respecto, la Norma Técnica Peruana (NPT) 209.064: 1974 (revisada el 2013), indican que el porcentaje de humedad para almidones estas deben contener como máximo 12,5 %, por lo tanto, los almidones se encuentran dentro del parámetro establecido.

Para cenizas en almidones nativos se encontraron los valores de 0,47 % y 0,53 % para la variedad amarilla y negra respectivamente, en los almidones pregelatinizados fue de 0,71 % y 0,70 % para la variedad amarilla y negra respectivamente. Ávila (2022), reportó el valor de 0,3 % para almidón nativo de mashua amarilla, al igual que Daza et al. (2022), reportaron un valor de 0,21 % para almidón de cubio y de papa. Por otro lado, los valores encontrados son similares a: Robalino (2023), reportó un valor de 0,36 % de cenizas para almidones nativos de mashua amarilla y 0,39 % para almidón de yuca, Surco (2004), encontró valores de 0,60; 0,55 y 0,49 % de cenizas para almidones nativos de mashua, oca y olluco respectivamente.

La diferencia de valores del porcentaje de contenido de cenizas se debe a las prácticas culturales de abonamiento, lugar de siembra y cosecha (Hermosa, 2013). Asimismo, el porcentaje de ceniza se debe al contenido de minerales como calcio, fósforo, potasio, sodio y hierro, a su vez el contenido de hierro depende del tipo de suelos cultivados (Arone, 2019). Al respecto la Norma Técnica Peruana (NPT) 209.064: 1974 (revisada el 2013), indican que el porcentaje de cenizas para



almidones estas deben contener como máximo 0,5 %, por lo tanto, los almidones nativos se encuentran dentro del parámetro establecido, los almidones pregelatinizados presentan un porcentaje moderadamente puedes ser debido al proceso de pregelatinización.

Para grasa en almidones nativos se encontraron los valores de 0,21 % y 0,71 % para la variedad amarilla y negra respectivamente, en los almidones pregelatinizados fue de 1,13 % y 1,06 % para la variedad amarilla y negra respectivamente. Ávila (2022), reportó el valor de 0,11 % para almidón nativo de mashua amarilla. Asimismo Surco (2004). reportó un valor de 0,0 % de grasa para almidones nativos de mashua, oca y olluco respectivamente. Sin embargo, coincidimos con Daza et al. (2022), reportaron un valor de 0,21 % de grasa para almidón de mashua amarilla. Por otro lado, Hermosa (2013), reportó un valor de 1,91 % de grasa en mashua amarilla.

La diferencia estos valores puede deberse a la variedad y métodos de extracción. Hermosa (2013), indica que el contenido de grasa provenientes de los tubérculos tiene valores no importantes. Al respecto, la Norma Técnica Peruana (NPT) 209.064: 1974 (revisada el 2013), para almidón de maíz no modificado de uso alimenticio y farmacéutico, indican que, el porcentaje de grasa para almidones estas deben contener como máximo 0,10 %. En este trabajo de investigación los almidones nativos y pregelatinizados presentaron valores moderadamente altos, esto puede ser debido al método de extracción, proceso de pregelatinización y variedad de la mashua.

Para proteínas en almidones nativos se encontraron los valores de 0,31 % y 0,30 % para la variedad amarilla y negra respectivamente, en comparación con



los almidones pregelatinizados fue de 0,36 % y 0,34 % para la variedad amarilla y negra respectivamente. Ávila (2022), determino un valor de 0,44 % de proteínas para almidón nativo de mashua amarilla; asimismo, Surco (2004), encontró valores de 0,5 %; 0,3 % y 0,2 % de proteínas para almidones nativos de mashua, oca y olluco respectivamente, también Hermosa (2013), reportó un valor de 0,54 % de proteínas en mashua y 0,34 % de proteínas en oca. Por otro lado, Daza et al. (2022), reportaron un valor inferior a lo encontrado, siendo este 0,16 % de proteínas para almidón de cubio y 0,17 % para almidón de papa.

Por otro lado, los almidones de tubérculos contienen pequeñas cantidades de proteínas en comparación de los almidones de cereales, los cuales contienen de 0,25 % a 0,6 %, además menciona que el contenido de proteínas en los almidones, depende de factores físicos ambientales de cada región, el tipo de suelo del cultivo, la temperatura y la ausencia o abundancia de lluvias, que varían dependiendo de la zona en la que los tubérculos son cultivados (Arone, 2019). Al respecto, la Norma Técnica Peruana (NPT) 209.064: 1974 (revisada el 2013), indica que el porcentaje de proteínas para almidones estas deben contener como máximo 0,45 %. por lo tanto, los almidones se encuentran dentro del parámetro establecido.

En términos generales, los valores de composición proximal son clave para definir las propiedades funcionales y estructurales del almidón, lo que influye en su potencial para ser integrado en una matriz alimentarias Arone (2019). La proteína influye en las propiedades térmicas, la viscosidad y la estabilidad del almidón. Por otro lado, el contenido de grasa se asocia con los grupos fenólicos presentes en el almidón. La ceniza, a su vez, está vinculada al contenido de fósforo, el cual desempeña un papel importante en el hinchamiento y la estabilidad

de la pasta, aunque la cantidad de fósforo varía según las características específicas de cada especie (Robalino, 2023).

4.3. Análisis de propiedades reológicas

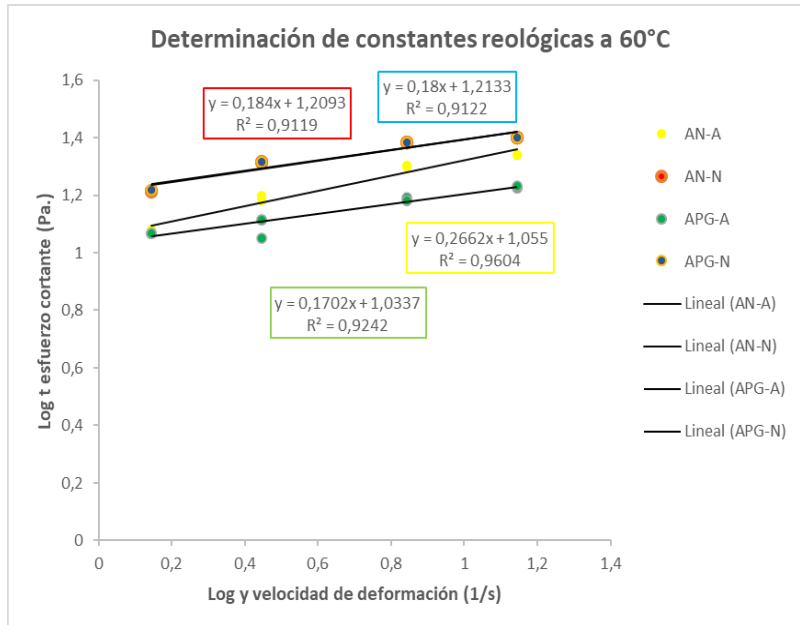
4.3.1. Determinación de las constantes reológicas

Los parámetros reológicos de índice de comportamiento de flujo (n), coeficiente de consistencia (K) y coeficiente de determinación (R^2), se determinaron mediante el modelo Mischa, su principio fundamental se basa en la ley de potencia, que relaciona el esfuerzo de corte (τ) y con la tasa de corte ($\dot{\gamma}$), transforma la relación no lineal entre τ - $\dot{\gamma}$ en una relación lineal, consiste en cuantificar el valor de τ y el valor de $\dot{\gamma}$ utilizando un viscosímetro, graficándolo en forma logarítmica ($\log \tau$ vs. $\log \dot{\gamma}$) para obtener una recta con pendiente n , calculando la constante K utilizando la ley de potencia y determinando la constante n a partir de la pendiente de la recta.

En las Figuras 19 y 20, se observa que el índice de comportamiento de flujo (n) y el coeficiente de consistencia (K), analizados a dos temperaturas (25 °C y 60 °C), presentan valores de $n < 1$ para ambas variedades de los almidones nativo y para almidones pregelatinizados de mashua, reflejando un comportamiento característico de tipo pseudoplástico. Asimismo, las Figuras 21 y 22, se observa que la viscosidad disminuye a medida se incrementa la velocidad de deformación, confirmando el comportamiento no newtoniano- pseudoplástico tanto para el almidón nativo y pregelatinizado para ambas variedades.

Figura 19

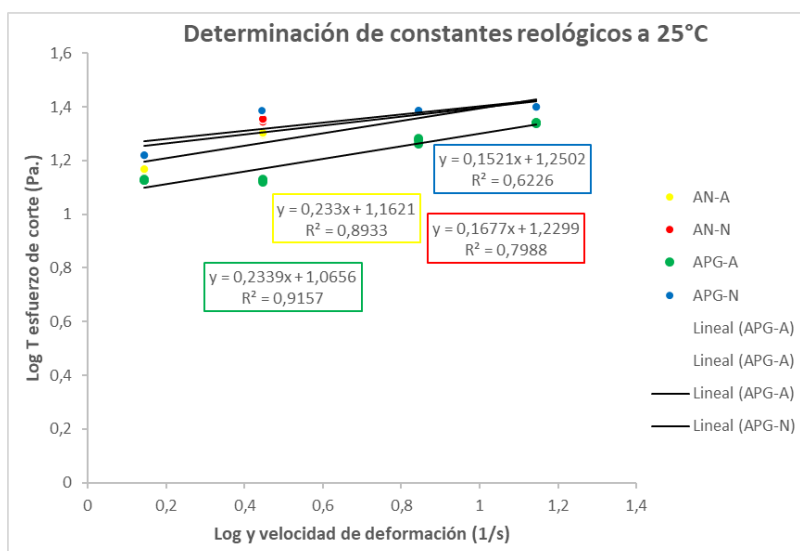
Determinación de parámetros reológicos de los almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla y negra a 60 °C, modelo Mitschka.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20

Determinación de parámetros reológicos de los almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla y negra a 25 °C, modelo Mitschka.



Fuente: Elaboración propia.



En los análisis de varianza (ANOVA) (Anexo 10) se examinaron los almidones nativos y pregelatinizados de las variedades amarilla y negra, en la cual se observa que los valores de n y K difieren para ambas variedades evaluados a dos temperaturas (25 °C y 60 °C).

En la Tabla 16, se observa que el índice de consistencia (K) disminuye y el índice de comportamiento del flujo (n) aumenta a 60 °C, a 25 °C ocurre lo contrario: el índice de consistencia aumenta y el índice de comportamiento del flujo disminuye, tanto en los almidones nativos como en los almidones pregelatinizados de ambas variedades.

Esto significa que, a 25 °C el fluido presenta una mayor resistencia al flujo, lo cual se traduce en una viscosidad aparente más alta. Además, indica un comportamiento pseudoplástico más pronunciado, es decir, el almidón se adelgaza al aplicarle esfuerzo de corte. En cambio, a 60 °C, el fluido es menos viscoso debido a la disociación de las moléculas de amilosa y amilopectina, y muestra un comportamiento de flujo menos sensible al esfuerzo aplicado en comparación con los valores a menor temperatura.

El coeficiente de consistencia o la constante K , es un parámetro importante que describe la resistencia al esfuerzo de corte del material, representa la viscosidad aparente del material a una velocidad de deformación. En los resultados se observa que, los valores de la viscosidad aparente a 60 °C, el almidón es menos viscoso y su viscosidad tiene valores semejantes, para AN-A (9,145 Pa. sⁿ) en comparación con APG-A (9,757 Pa. sⁿ) y para AN-N (13, 924 Pa. sⁿ) en comparación con APG-N (14,076 Pa. sⁿ) cuando se le aplica un esfuerzo de corte o se agita, en la cual el almidón de mayor índice de consistencia es APG-N



mientras que el almidón con menor consistencia es AN-A. En comparación con su comportamiento a una temperatura más baja, a 25 °C la viscosidad puede ser variable dependiendo de la reorganización de la amilosa, puesto que los almidones con bajo contenido de amilosa (y alto contenido de amilopectina) suelen ser menos viscosos y muestran una menor resistencia al flujo, con un índice de consistencia (k) más bajo. Por otro lado, la amilopectina, al ser altamente ramificada, dificulta la formación de redes fuertes, dando lugar a pastas menos estables y menos viscosas. En los resultados se observa que, los valores de la viscosidad aparente a 25 °C, el almidón es más viscoso y variable para AN-A (14,525 Pa.sⁿ) en comparación con APG-A (11,632 Pa.sⁿ), sin embargo, para AN-N (16,979 Pa.sⁿ) en comparación con APG-N (17,790 Pa.sⁿ) presenta un gel más viscoso, pero con valores equivalentes.

El índice de comportamiento de flujo, es el parámetro que describe cómo cambia la viscosidad e indica el tipo de comportamiento reológico del material, en los resultados se observa valores de $n < 1$ en ambas temperaturas (25 °C – 60 °C), indicando que los almidones nativos, así como, los almidones pregelatinizados de las variedades amarilla y negra presentan un comportamiento de adelgazamiento de corte o pseudoplástico, en la cual la viscosidad del gel de mashua disminuye a medida que aumenta la velocidad de deformación.

Tabla 16

Valores de las constantes del modelo Mitschka para almidones nativos y pregelatinizados a una concentración de 5 % y temperaturas de 25 °C y 60 °C.

Almidón	T°	25 °C				60 °C			
		K	N	R ²		K	N	R ²	
		(Pa. s ⁿ)	(-)	lineal	potencial	(Pa. s ⁿ)	(-)	lineal	Potencial
AN-A		14,525 ^b ± 0,117	0,233 ^c ± 0,003	0,8933	0,9859	9,145 ^a ± 0,193	0,367 ^c ± 0,008	0,9604	0,994
AN-N		16,979 ^c ± 0,091	0,168 ^b ± 0,002	0,7988	0,98	13,924 ^c ± 0,024	0,254 ^b ± 0,001	0,9119	0,9937
APG-A		11,632 ^a ± 0,124	0,234 ^c ± 0,004	0,9157	0,9872	9,757 ^b ± 0,381	0,218 ^a ± 0,011	0,9242	0,9954
APG-N		17,790 ^d ± 0,084	0,152 ^a ± 0,002	0,6226	0,9554	14,076 ^c ± 0,016	0,249 ^b ± 0,001	0,9122	0,994

Fuente: Elaboración propia. K: coeficiente de consistencia (Pa. sⁿ) n: índice de comportamiento de flujo (adimensional) R²: coeficiente de determinación. Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, según HSD de Tukey (p < 0,05).

Grados & Gutiérrez (2010), reportaron el valor de n = 0,286 y k = 23,07 en muestras de almidón de mashua, afirmando también un comportamiento reológico de tipo pseudoplástico. Asimismo, Velásquez & Velezmoro (2018), reportaron valores de n (0,58, 0,60, 0,60) y k (11,01, 7,18, 8,66) para almidones de mashua, oca y olluco respectivamente, a una concentración del 4 %, donde los valores de n fueron menores a 1, indicando un comportamiento pseudoplástico.

4.3.2. Comportamiento de flujo

En las Figuras 21 y 22, se presentan el comportamiento de viscosidad vs. Velocidad de deformación de los geles de almidones nativos y pregelatinizados de dos variedades de mashua al 5 % de concentración a dos temperaturas (60 °C y 25 °C). Los resultados de viscosidad determinaron el comportamiento de los almidones como un fluido no newtoniano- pseudoplástico. Además, se observó que el valor de la viscosidad es menor a 60 °C, sin embargo, se observó un notable incremento en la viscosidad del almidón nativo y almidón pregelatinizado de la variedad amarilla, cuando las mediciones se realizaron a 25 °C. En comparación



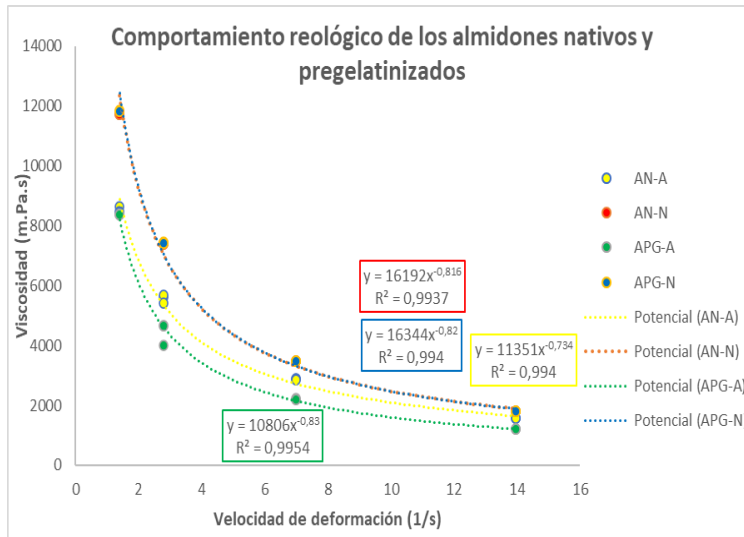
con el almidón nativo y almidón pregelatinizado de la variedad negra, presentaron valores equivalentes de viscosidad tanto a 60 °C, así como a 25 °C (Anexo 10).

La disminución de la viscosidad se debe al fenómeno de disociación molecular que experimentan los componentes del almidón (amilosa y amilopectina). En esta etapa, la amilosa se solubiliza y se libera en la fase acuosa. En cambio, durante el enfriamiento, los valores de viscosidad aumentan debido a la reasociación de los componentes del almidón, donde la amilosa previamente liberada forma una red tridimensional que permite que las moléculas de agua se unan mediante puentes de hidrógeno, generando así la formación de un gel. Asimismo (Cáceres Najarro, 2009). Por su parte Sivoli et al., (2012), encontró resultados similares en el almidón de yuca, donde la viscosidad disminuye a medida se aumenta la fuerza de corte, siendo menor a mayor temperatura (50 °C) y mayor a menor temperatura (30 °C), también indica que, durante el enfriamiento la viscosidad del gel se incrementa debido a la reorganización de las moléculas, formando un gel más rígido, lo cual sugiere una alta tendencia a la retrogradación.

Esto concuerda con lo realizado en esta investigación ya que la viscosidad del almidón nativo y pregelatinizado de la variedad amarilla aumenta a 25 °C, con tendencia al proceso de retrogradación al enfriar, y haciendo que el gel sea más propenso a la sinéresis a largo plazo. No obstante, la viscosidad del almidón nativo y almidón pregelatinizado de la variedad negra presentan valores semejantes en ambas temperaturas (a 25 °C y 60 °C), por lo que se no se observa un aumento significativo en la viscosidad a 25 °C, el gel mantiene su estructura, llegando a que los almidones de la variedad negra presentan baja retrogradación y baja sinéresis en comparación con los almidones de la variedad amarilla.

Figura 21

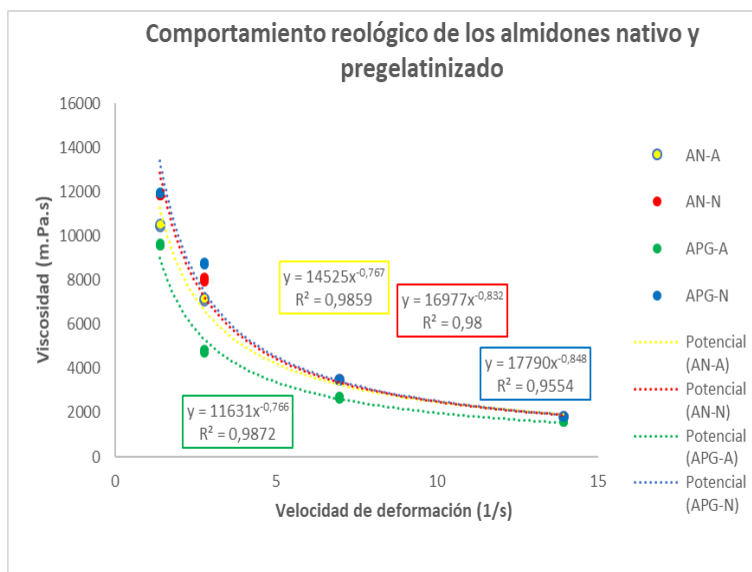
Viscosidad en función de la velocidad de deformación de los almidones nativo y pregelatinizado de mashua amarilla y negra, evaluadas al 5 % de concentración a 60 °C.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22

Viscosidad en función de la velocidad de deformación de los almidones nativo y pregelatinizado de mashua amarilla y negra, evaluadas al 5 % de concentración a 25 °C.



Fuente: Elaboración propia.



Al comparar los resultados de los almidones nativos y pregelatinizados de dos variedades de mashua, se observaron comportamientos similares a los descritos en estudios previos de almidones de papa (Barrientos, 2013), yuca (Sivoli et al., 2012) y plátano (Bello Pérez et al., 2002). Estos autores señalan que el índice de consistencia de los almidones aumenta a medida que la temperatura disminuye, a diferentes concentraciones, mostrando un comportamiento no newtoniano-pseudoplástico. Además, se observa que la viscosidad disminuye a mayor temperatura y aumenta a menor temperatura.

La variación en la viscosidad del almidón depende de factores como el tamaño de gránulo, contenido de fósforo y amilosa, además de la variabilidad genética y las condiciones ambientales en las que se cultiva. Otros factores que influyen son el contenido de proteínas, cenizas, fibra, grasa y minerales, la madurez fisiológica del cultivo, las características del suelo, la formación del complejo amilosa-lípido y la estructura de la amilopectina. De manera similar, Surco (2004), observa que los almidones de mashua, al tener un alto porcentaje de proteínas, cenizas y fósforo, presentan una viscosidad más baja en comparación con los almidones de oca y olluco, que muestran valores menores de estos componentes (Cáceres Najarro, 2009).

En este contexto, se puede afirmar que los almidones nativos y pregelatinizados de las dos variedades de mashua estudiadas muestran un comportamiento no newtoniano de tipo pseudoplástico, los almidones de la variedad negra estudiadas a 25 °C y 60 °C presentan una menor retrogradación y sinéresis en comparación con los almidones de la variedad amarilla.



V. CONCLUSIONES

- En las propiedades físicas, los almidones nativos y pregelatinizados presentaron partículas menores a 75 μm . El almidón nativo de mashua amarilla presentó un mayor rendimiento con 4,22 % y la negra tuvo 2,88 %. Referente a las propiedades funcionales, el tratamiento T5(25 % humedad, 60 °C y 4 min) mostró la mayor estabilidad y mejor calidad funcional en ambas variedades de mashua, con altos valores de capacidad de absorción de agua (CAA) (21,96 g gel/g y 24,91 g gel/g para mashua amarilla y negra respectivamente) y poder de hinchamiento (PH) (38,19 g/g y 47,91 g/g para mashua amarilla y negra respectivamente), con valores bajos y constantes de índice de solubilidad en agua (ISA) (42,70 % y 48 % para mashua amarilla y negra respectivamente), similares al almidón nativo. Los demás tratamientos presentaron disminuciones en CAA y PH e incrementos en ISA para ambas variedades.
- En las propiedades químicas, el contenido de amilosa fue superior en el almidón amarillo con 33,05 % y el negro tuvo 31,70 % y los almidones pregelatinizados presentaron valores de 34,62 % y 34,69 %. Los rangos de humedad oscilaron entre 11,60 % y 12,22 %, mientras que las cenizas se ubicaron entre 0,47 % y 0,71 %. Los contenidos de grasa fueron de 0,21 % a 1,96 %, y las proteínas fluctuaron entre 0,30 % y 0,36 %.
- Respecto a las propiedades reológicas, los almidones nativos y pregelatinizados de mashua mostraron comportamiento no newtoniano - pseudoplástico, con viscosidad decreciente a 60 °C y creciente a 25 °C. El índice de consistencia (K) aumentó a 25°C, indicando mayor resistencia al flujo, y el índice de flujo (n) confirmó adelgazamiento por esfuerzo de corte.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar el análisis de tamaño de partícula mediante imágenes de barrido SEM, evaluar la macro y microestructura.
- Estudiar las propiedades de gelatinización, gelificación, retrogradación, sinéresis, cristalización, barrido de temperatura, barrido de frecuencia.
- Realizar estudio de las propiedades funcionales y bioactivas de la mashua, según variedad, zona de crecimiento, como materia prima, harinas o almidones para incluirla en alguna matriz alimentaria.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A., & Blanco, C. (2013). *Obtención y caracterización de almidones nativos colombianos para su evaluación como posibles alternativas en la industria alimentaria*. [Universidad de Cartagena].
- Aguado, B. V. (2017). *Influencia del tiempo de soleado sobre la concentración de azúcares reductores y capacidad antioxidante de la mashua (Tropaeolum tuberosum) ecotipo negra*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- AOAC Official Method 920.172 Ether Extract of Prepared Mustard. (2023). In *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.3610>
- AOAC Official Method 923.03 Ash of Flour. (2023). In *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.2929>
- AOAC Official Method 981.10 Crude Protein in Meat. (2023). In *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.3449>
- AOAC Official Method 985.14 Loss on Drying (Moisture) in Meat and Poultry Products. (2023). In *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.3432>
- Apaza, B. D. (2018). *Extracción y caracterización del almidón de oca (Oxalis tuberosa) de la variedad K'ellu Kamusa*. Universidad Peruana Unión.
- Arenas, A. (2014). *Estudio comparativo de almidones de maíz modificado como excipientes de comprimidos matriciales de liberación prolongada*. [Tesis de doctorado, Universidad de Sevilla].
- Arone, D. (2019). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y microbiológicas del almidón de arracacha (Arracacia xanthorrhiza) de las variedades blanca, amarilla y morada*.



- Arroyo, A., & Balcazar, A. (2023). *Caracterización de almidones de variedades de mashua (Tropaeolum tuberosum) y su obtención en jarabe de glucosa*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Arteaga, D., Chacón, L., Samamé, V., Valverde, D., & Paucar, L. M. (2022). Mashua (*tropaeolum tuberosum*): Nutritional composition, chemical characteristics, bioactive compounds and beneficial properties for health. *Agroindustrial Science*, 12(1), 95–101. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.12>
- Ávila, Lady. (2022). *Producción de un biopolímero a partir de la mashua izaño (Tropaeolum tuberosum) para el embalaje de alimentos*. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- Barrientos, M. (2013). *Determinación de propiedades reológicas termo-físicas del almidón extraído de diez variedades tradicionales de papa nativa de Chile*. [Universidad Austral de Chile].
- Bello Pérez, M., Arturo, L., Ramos, C., Maribel, S., Manilla, R., Fera, S., & Aparicio, J. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. Macho). *Agrociencia*, 36(2), 169–180. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236204>
- Bustincio, J. (2014). *Evaluar el rendimiento de almidón, la capacidad de antioxidante en el proceso de tuberización en 10 accesiones de isaño (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavon)*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Cáceres Najarro, M. (2009). *Caracterización de almidón en papas nativas del grupo (Solanum phureja)*. [Universidad Peruana Unión].
- Chavez, E. I., & Mosquera, S. (2018). *Influencia del procesamiento y almacenamiento en la actividad antioxidante de la mashua (Tropaeolum tuberosum R&P) en almibar, parcialmente edulcorado con estevia (Stevia rebaudiana)*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Daza, L. D., Umaña, M., Simal, S., Váquiro, H. A., & Eim, V. S. (2022). Non-conventional starch from cubio tuber (*Tropaeolum tuberosum*): Physicochemical, structural, morphological, thermal characterization and the evaluation of its



- potential as a packaging material. *International Journal of Biological Macromolecules*, 221, 954–964. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.092>
- Espinoza, V. (2017). *Efecto del porcentaje de la suspensión y temperatura de incubación en las características físicas y propiedades térmicas de almidón de papa (Solanum Tuberosum L.) modificado (ANN) variedad Yungay*. Universidad Privada Antenor Orrego.
- Galindo, E. (2023). *Influencia de zonas agroecológicas y métodos de secado sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales de harina instantánea de mashua negra (Tropaeolum Tuberosum Ruiz & Pavón) en Perú*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Gani, A., Nazia, S., Rather, S. A., Wani, S. M., Shah, A., Bashir, M., Masoodi, F. A., & Gani, A. (2014). Effect of γ -irradiation on granule structure and physicochemical properties of starch extracted from two types of potatoes grown in Jammu & Kashmir, India. *LWT*, 58(1), 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.008>
- Glorio Paulet, P., Bello-Pérez, L. A., Salas, F., & Buleje, E. (2009). Caracterización viscoelástica y estimaciones de masas moleculares en almidón de Oca (*Oxalis tuberosum*). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 75(2), 266–276.
- Gómez, R. (2020). *Efecto del tiempo de almacenamiento poscosecha sobre los compuestos funcionales de la mashua (Tropaeolum tuberosum) variedad de yana añu*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano].
- Grados, M. Y., & Gutiérrez, Y. L. (2010). *Caracterización fisicoquímica y reológica del almidón de Tropaeolum tuberosum, variedad amarilla, provenientes de San Marcos-Cajamarca y Otuzco-La Libertad*.
- Grau, A. (2003). *Mashua, Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pav Plant genetic resources networks View project Building human and institutional capacity to conserve and utilize agricultural diversity more efficiently View project*. <https://www.researchgate.net/publication/245539310>
- Hanco, Y. (2021). *Evaluación de las propiedades térmicas en almidones de seis variedades de papas nativas del departamento de Puno*. Universidad Nacional de Juliaca.



- Hermosa, G. D. C. (2013). *Caracterización de almidones de dos tubérculos andinos: isaño (Tropaeolum tuberosum R&P) y oca (Oxalis tuberosa Mol)*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Hidalgo, A. xrisa, & Micho, N. S. (2016). *Modificación química de almidón de maca (Lepidium Peruvianum) en sus características fisicoquímicas y reológicas*. Universidad Nacional del centro del Perú.
- Hoover, R., & Ratnayake, W. S. (2001). *Determination of Total Amylose Content of Starch Starch and Starch Derivatives*.
- Huamani, R. E. (2014). *Caracterización bromatológica, microbiológica y sensorial del néctar de mashua (Tropaeolum tuberosum R. et P.) edulcorado con stevia (Stevia rebaudiana Bertoni)*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Idme, E. (2010). *Evaluación de la composición nutricional en el procesamiento de soleado, cocción-extrusión y obtención de harina de Izaño (Tropaeolum tuberosum R. et P.)*. Universidad Nacional del Altiplano.
- ISO- 6647 Internacional Organization for Standardization. (1987). *Determination of amylose content*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5758602b-f293-4486-a387-7371b864f8e0/iso-6647-1987>
- Jaramillo, P. (2013). *Obtención de almidones modificados de achira (Canna edulis ker) y caracterización de sus propiedades de interés en la industria de alimentos*. [Tesis de maestría, Universidad del Valle].
- Lancho Ruiz, A. C. (2015). *Obtención de jarabe a partir del almidón del maíz morado Zea maydis L*. Universidad Nacional del Callao.
- Laura, Y., & Torres, W. (2018). *Efecto hipoglucemiante de dos variedades de mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavón): negra y amarilla en ratas wistar diabéticas inducidas por aloxano, Puno 2016*.
- Manrique, N. (2006). *Producción de almidones pregelatinizados a partir de mezclas de almidones de fuentes no convencionales usando un extrusor de doble tornillo*. [Tesis de maestria, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional].



- Martínez, A., & Sánchez, S. (2020). *Evaluación tecnológica del almidón de cubio modificado para su aplicación en un producto cárnico tipo hamburguesa*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/722
- Martinez, R. (2002). *Caracterización del comportamiento reológico de sopa crema orientada a control de calidad*. [Universidad Austral de Chile].
- Mc.Grance, S. J., Cornell, H. J., & Melbourne, R. C. J. (1998). A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products. *Starch Starke*, 4(50), 158–163.
- Mitschka, P. (1982). Simple conversion of Brookfield R.V.T. readings into viscosity functions. In *Rheologica Acta Rheol. Acta* (Vol. 21).
- Muñoz, L. A., Pedreschi, F., Leiva, A., & Aguilera, J. M. (2015). Loss of birefringence and swelling behavior in native starch granules: Microstructural and thermal properties. *Journal of Food Engineering*, 152, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.11.017>
- Orbea, K. (2020). *Identificación del contenido de almidón en dos variedades de papas: INIAP-cecilia (Solanum Tuberosum L.) y superchola (Solanum Tuberosum) para elaboración de bioplástico*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Pacheco, T. (2019). *Obtención y caracterización de compuestos bioactivos procedentes de tubérculos andinos y de subproductos de la industria agroalimentaria*. [Universidad Autónoma de Madrid].
- Paucar, S. A. (2014). *Composición química y capacidad antioxidante de dos variedades mashua (Tropaeolum tuberosum) amarilla chaucha y zapallo*. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Peña, E. F. (2017). *Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de Ilave-Puno*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Pérez, P. F. (2018). *Efecto de la concentración de la suspensión y temperatura de tratamiento en las características físicas de geles de almidón de yuca Manihot esculenta Crantz modificado*. Universidad Privada Antenor Orrego.



- Puente, A. (2016). *Pregelatinización hidrotérmica del grano de Amaranto *Amaranthus caudatus* L.*
- Quispe, Y. (2018). *Características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) de las variedades amarilla y negra.* Universidad Nacional José María Arguedas.
- Robalino, K. (2023). *Elaboración de un biofilm a partir de la mezcla de almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*) para su uso en el embalaje de alimentos.*
- Salazar, M. F. (2014). *Procesamiento de harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) para la aplicación en productos de panadería.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Sayra, E. A. (2021). *Evaluación de las propiedades reológicas, fisicoquímicas y funcionales del almidón de tres variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) de la region de Puno.* Universidad Nacional del Altiplano.
- Sigala, B. (2019). *Obtención de almidones de papa (*Solanum tuberosum*) pregelatinizados usando calentamiento óhmico.*
- Sivoli, L., Pérez, Y., & Rodríguez, P. (2012). Análisis estructurales del almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta* C.) empleando técnicas morfométricas, químicas, térmicas y reológicas. *Revista de La Facultad Agronómica*, 29, 293–313.
- Suárez, N., Ramos, A., Guerra, C., García, G., & Aguilar, E. (2016). Comparación de métodos físicos-químicos en la producción de almidón resistente. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 53–58.
- Surco, F. A. (2004). *Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), Olluco (*Ullucus tuberosus*) para su aplicación tecnológica.* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Tapia, Mario., Fries, A., Mazar, Irela., & Rosell, Cadmo. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos- FAO.* Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú ; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.



- Tinoco, L. (2016). *Efectivo de la temperatura y concentración en el perfil reológico de pulpa de melón (cucumis melo)*. [Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Valdez, J. del C. (2019). *Caracterización fisicoquímica, funcional tecnológica y sensorial de tres variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*". [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Velásquez, F. (2019). *Obtención y aplicación de almidones modificados por esterificación (OSA) a partir de almidones nativos provenientes de tubérculos andinos*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Velásquez, F., & Velezmoro, C. (2018). Rheological and viscoelastic properties of Andean tubers starches. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 189–197. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.03>
- Yalta, A. (2012). *Evaluación fisicoquímica y funcional de almidón pregelatinizado a partir del almidón de pituca (Colocasia esculenta), proveniente de la localidad de Yambrasbamba, región Amazonas*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Yungán, Á. I. (2015). *Efecto del método de extracción del almidon de mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz&Pav.) en las características químicas y reológicas*. Universidad Técnica de Ambato.



ANEXOS

ANEXO 1. Análisis estadístico de determinación de tamaño de partícula de almidones pregelatinizados de mashua amarilla.

Tabla 1. Factores Inter sujetos para DTP

		Almidones	Rep.
Tratamientos	1,00	T1	3
	2,00	T2	3
	3,00	T3	3
	4,00	T4	3
	5,00	T5	3
	6,00	T6	3
	7,00	T7	3
	8,00	T8	3

Tabla 1.1. Análisis de Varianza para DTP-malla N°80 (180 μ m) para mashua amarilla.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	3,997	7	,571	11,519	,000
Error	,793	16	,050		
Total	6,514	26			

a. R al cuadrado = ,834 (R al cuadrado ajustada = ,762)

Tabla 1.1.1.

Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para DTP-malla N°80 (180 μ m) para mashua amarilla.

Tratamientos	Rep.	Grupo			
		1	2	3	4
T5	3	,7347	,7347		
T6	3	,7650	,7650		
T8	3	1,0520	1,0520		
T7	3	1,0900	1,0900	1,0900	
T4	3		1,5123	1,5123	1,5123
T3	3		1,5343	1,5343	1,5343
T2	3			1,7117	1,7117
T1	3				1,8940

Tabla 1.2. *Análisis de Varianza para DTP-malla N°100 (150 μ m) para mashua amarilla.*

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	197,278	7	28,183	53,172	,000
Error	8,480	16	,530		
Total	205,758	23			

a. R al cuadrado = ,959 (R al cuadrado ajustada = ,941)

Tabla 1.2.1. *Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para DTP-malla N°100 (150 μ m) para mashua amarilla.*

Tratamientos	Rep.	Grupo		
		1	2	3
T8	3	6,1333		
T7	3	6,4868		
T4	3	7,6005		
T6	3		10,3787	
T1	3		10,3953	
T5	3		10,7247	
T3	3		12,2977	
T2	3			15,1660

Tabla 1.3. *Análisis de Varianza para DTP-malla N°140 (106 μ m) para mashua amarilla.*

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	224,189	7	32,027	16,631	,000
Error	30,812	16	1,926		
Total	255,000	23			

a. R al cuadrado = ,879 (R al cuadrado ajustada = ,826)

Tabla 1.3.1. *Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para DTP-malla N°140 (106 μ m) para mashua amarilla.*

Tratamientos	Rep.	1	2	3	4
T7	3	10,9162			
T8	3	11,4210			
T6	3	12,6317	12,6317	12,6317	
T2	3	13,9155	13,9155	13,9155	
T5	3		15,8743	15,8743	
T4	3			16,7253	16,7253
T1	3			17,4427	17,4427
T3	3				20,3677

Tabla 1.4. *Análisis de Varianza para DTP-malla N°200 (75 µm) para mashua amarilla.*

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	815,700	7	116,529	76,922	,000
Error	24,238	16	1,515		
Total	839,938	23			

a. R al cuadrado = ,971 (R al cuadrado ajustada = ,959)

Tabla 1.4.1. *Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para DTP-malla N°200 (75 µm) para mashua amarilla.*

Tratamientos	Rep.	Grupo			
		1	2	3	4
T2	3	20,7367			
T6	3	21,0775			
T1	3	23,0347			
T5	3	23,2053			
T4	3		27,3950		
T3	3			31,9867	
T7	3			32,7303	
T8	3				37,4858

Tabla 1.5. *Análisis de Varianza para DTP- Base de mallas (<75 µm) para mashua amarilla.*

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	270,745	7	38,678	17,793	,000
Error	34,781	16	2,174		
Total	305,527	23			

a. R al cuadrado = ,944 (R al cuadrado ajustada = ,919)

Tabla 1.5. 1. *Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para DTP- Base de mallas (<75 µm) para mashua amarilla.*

Tratamientos	Rep.	1	2	3	4
T3	3	32,5447			
T1	3	33,9000	33,9000		
T7	3		37,4377	37,4377	
T8	3		37,5727	37,5727	
T2	3			38,3918	
T6	3			39,1915	
T4	3			40,0678	40,0678
T5	3				44,1160

ANEXO 2. Análisis estadístico de determinación de tamaño de partícula de almidones pregelatinizados de mashua negra.

Factores Inter sujetos

	Almidones		N
Tratamientos	1,00	T1	3
	2,00	T2	3
	3,00	T3	3
	4,00	T4	3
	5,00	T5	3
	6,00	T6	3
	7,00	T7	3
	8,00	T8	3

Tabla 2.1.

Análisis de Varianza para DTP-malla N°80 (180 μ m) para mashua Negra.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	3,808	7	,544	1,698	,180
Error	5,128	16	,321		
Total	8,937	23			

a. R al cuadrado = ,426 (R al cuadrado ajustada = ,175)

Tabla 2.1.1.

Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para DTP-malla N°80 (180 μ m) para mashua Negra.

Tratamientos	Rep.	Grupo 1
T6	3	,7897
T1	3	,8492
T7	3	1,3167
T2	3	1,5038
T3	3	1,5652
T8	3	1,6982
T5	3	1,8793
T4	3	1,8905

Tabla 2.2. Análisis de Varianza para DTP-malla N°100 (150 μ m) para mashua negra.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	399,011	7	57,002	22,302	,000
Error	40,894	16	2,556		
Total	439,096	23			

a. R al cuadrado = ,907 (R al cuadrado ajustada = ,866)

Tabla 2.2.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para DTP-malla N°100 (150 μ m) para mashua negra.

Tratamientos	Rep.	Grupo					
		1	2	3	4	5	6
T7	3	6,2842					
T8	3	7,0277	7,0277				
T6	3		11,4147	11,4147			
T1	3			12,3513	12,3513		
T5	3			13,4925	13,4925		
T2	3				16,2777	16,2777	
T3	3				16,4427	16,4427	
T4	3					18,2188	

Tabla 2.3. Análisis de Varianza para DTP-malla N°140 (106 μ m) para mashua negra.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	624,116	7	89,159	64,573	,000
Error	22,092	16	1,381		
Total	646,208	23			

a. R al cuadrado = ,960 (R al cuadrado ajustada = ,942)

Tabla 2.3.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para DTP-malla N°140 (106 μ m) para mashua negra.

Tratamientos	Rep.	Grupo			
		1	2	3	4
T7	3	8,3873			
T8	3	9,1300			
T1	3		13,7028		
T2	3		15,5938		
T6	3		16,3890		
T5	3			19,9247	
T3	3			20,7982	20,7982
T4	3				23,6740

Tabla 2.4. Análisis de Varianza para DTP-malla N°200 (75 μ m) para mashua negra.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	367,017	7	52,431	15,163	,000
Error	55,325	16	3,458		
Total	422,342	23			

a. R al cuadrado = ,865 (R al cuadrado ajustada = ,805)

Tabla 2.4.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para DTP-malla N°200 (75 μm) para mashua negra.

Tratamientos	Rep.	1	2	3	4
T8	3	14,1085			
T2	3	19,3642	19,3642	19,3642	
T1	3		20,6010	20,6010	
T6	3		21,5283	21,5283	
T5	3		21,6550	21,6550	21,6550
T7	3		24,5275	24,5275	24,5275
T3	3			26,6472	26,6472
T4	3				26,7863

Tabla 2.5. Análisis de Varianza para DTP- Base de mallas (<75 μm) para mashua negra.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	2624,258	7	374,894	201,875	,000
Error	29,713	16	1,857		
Total	2653,971	23			

a. R al cuadrado = ,989 (R al cuadrado ajustada = ,984)

Tabla 2.5.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para DTP- Base de mallas (<75 μm) para mashua negra.

Tratamientos	Rep.	1	2	3	4	5
T4	3	25,2717				
T3	3	26,9575				
T5	3		31,6243			
T6	3		35,1948			
T2	3			39,0562		
T1	3			42,7267		
T7	3				47,6688	
T8	3					58,6540



ANEXO 3. Análisis estadístico de determinación de rendimiento de almidones de mashua amarilla y negra.

Tabla 3.1. *Rendimiento de almidones nativos de mashua amarilla y negra.*

		Variedad	Rep.
Tratamientos	1,00	Amarilla	3
	2,00	Negra	3

Tabla 3.2. *Análisis de Varianza para rendimiento de almidón nativo de mashua amarilla y negra.*

Origen	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	2,712	1	2,712	553,228	,000
Error	,020	4	,005		
Total	2,731	5			

a. R al cuadrado = ,993 (R al cuadrado ajustada = ,991)

ANEXO 4. Análisis estadístico de determinación de amilosa y amilopectina de almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla y negra.

Tabla 4.1. Análisis de Varianza de medias de amilosa de almidones nativo y pregelatinizados de mashua amarilla y negra.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	18,338	3	6,113	33,909	,000
Error	1,442	8	,180		
Total	19,780	11			

a. R al cuadrado = ,927 (R al cuadrado ajustada = ,900)

Tabla 4.1.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para tratamientos medias de amilosa de almidones nativo y pregelatinizado de mashua negra y amarilla.

Tratamientos	Rep.	Grupo		
		1	2	3
AN-N	3	31,7000		
AN-A	3		33,0500	
APG-A	3			34,6167
APG-N	3			34,6933

Tabla 4.2. Análisis de Varianza de medias de amilopectina de almidones nativo y pregelatinizados de mashua amarilla y negra.

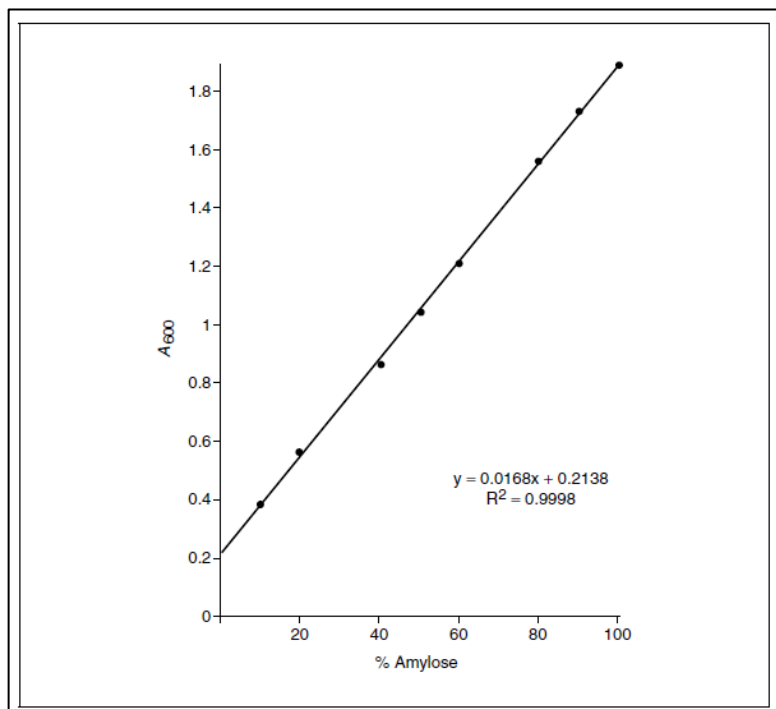
Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	18,338	3	6,113	33,909	,000
Error	1,442	8	,180		
Total	19,780	11			

a. R al cuadrado = ,927 (R al cuadrado ajustada = ,900)

Tabla 4.2.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para tratamientos medias de amilosa de almidones nativo y pregelatinizado de mashua negra y amarilla.

Tratamientos	Rep.	Grupo		
		1	2	3
APG-N	3	65,3067		
APG-A	3	65,3833		
AN-A	3		66,9500	
AN-N	3			68,3000

Figura 4.3. Absorbancia a 600 nm frente al porcentaje de amilosa (p/p) para mezclas de amilosa de patata y amilopectina con yodo. La absorbancia de amilosa al 0% se debe a la afinidad por I₂ de las largas ramas exteriores de la amilopectina.



Fuente: (Hoover & Ratnayake (2001))

ANEXO 5. Análisis estadístico multivariante de composición proximal de almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla y negra.

Tabla 5.1. Análisis de Varianza de medias de proteínas, grasa, cenizas y humedad de almidones nativo y pregelatinizados de mashua amarilla y negra.

Fuente	Variable dependiente	S.C.	G.L.	C.M.	F	Sig.
Tratamientos	Proteína	,007	3	,002	,364	,781
	Grasa	6,092	3	2,031	3402,668	,000
	Ceniza	,130	3	,043	113,953	,000
	Humedad	,661	3	,220	8,149	,008
Error	Proteína	,052	8	,007		
	Grasa	,005	8	,001		
	Ceniza	,003	8	,000		
	Humedad	,216	8	,027		
Total	Proteína	,059	11			
	Grasa	6,096	11			
	Ceniza	,133	11			
	Humedad	,877	11			

a. R al cuadrado = ,120 (R al cuadrado ajustada = -,210)

b. R al cuadrado = ,999 (R al cuadrado ajustada = ,999)

c. R al cuadrado = ,977 (R al cuadrado ajustada = ,969)

d. R al cuadrado = ,753 (R al cuadrado ajustada = ,661)

Tabla 5.2.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para tratamientos medias de proteínas de almidones nativo y pregelatinizado de mashua negra y amarilla.

Tratamientos	Rep.	Grupo 1
AN-N	3	,2967
AN-A	3	,3067
APG-N	3	,3400
APG-A	3	,3567

Tabla 5.2.2. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para tratamientos medias de grasa de almidones nativo y pregelatinizado de mashua negra y amarilla.

Rep.	N	Grupo			
		1	2	3	4
AN-A	3	,2187			
AN-N	3		,7137		
APG-N	3			1,7098	
APG-A	3				1,9621



Tabla 5.2.3. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para tratamientos medias de cenizas de almidones nativo y pregelatinizado de mashua negra y amarilla.

Tratamientos	Rep.	Grupo		
		1	2	3
AN-A	3	,4730		
AN-N	3		,5303	
APG-N	3			,6991
APG-A	3			,7124

Tabla 5.2.4. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para tratamientos medias de humedad de almidones nativo y pregelatinizado de mashua negra y amarilla.

Tratamientos	Rep.	Grupo	
		1	2
AN-N	3	11,6000	
APG-N	3		12,0767
APG-A	3		12,0867
AN-A	3		12,2167

ANEXO 6. Análisis estadístico de determinación de CAA, ISA y PH de almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla.

Tabla 6.1. Análisis de Varianza para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 45 °C de análisis experimental.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	22,415	7	3,202	138,320	,000
Error	,370	16	,023		
Total	22,785	23			

a. R al cuadrado = ,953 (R al cuadrado ajustada = ,932)

Tabla 6.1.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 45 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	Grupo				
		1	2	3	4	5
T2	3	1,8267				
T5	3		2,3133			
T1	3		2,3767			
T3	3			3,2567		
T4	3			3,4633		
T6	3				4,0900	
T7	3				4,2733	4,2733
T8	3				4,6700	4,6700

Tabla 6.2. Análisis de Varianza para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 45 °C de análisis experimental.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	Sig.
Tratamientos	2567,667	7	366,810	,000
Error	21,333	16	1,333	
Total	2589,000	23		

Tratamientos	Rep.	1	2	3	4	5	6
T2	3	13,3333					
T8	3		22,8333				
T7	3			26,3333			
T4	3			26,6667			
T5	3				31,1667		
T1	3					35,1667	
T3	3					38,3333	
T6	3						50,1667

Tabla 6.3. Análisis de Varianza para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 45 °C de análisis experimental.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	74,957	7	10,708	126,567	,000
Error	1,354	16	,085		
Total	652,550	23			

a. R al cuadrado = ,982 (R al cuadrado ajustada = ,975)

Tabla 6.3.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 45 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	1	2	Grupo 3	4	5
T2	3	2,1033				
T5	3		3,3600			
T1	3		3,6667			
T4	3			4,7200		
T3	3			5,2900	5,2900	
T7	3				5,8033	
T8	3				6,0467	
T6	3					8,2100

Tabla 6.4. Análisis de Varianza para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 55 °C de análisis experimental.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	3,545	7	,506	4,570	,006
Error	1,773	16	,111		
Total	5,318	23			

a. R al cuadrado = ,667 (R al cuadrado ajustada = ,591)

Tabla 6.3.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 55 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	Grupo	
		1	2
T8	3	5,3667	
T1	3	6,1767	6,1767
T2	3	6,2967	6,2967
T6	3		6,4267
T5	3		6,5300
T4	3		6,5433
T3	3		6,5700
T7	3		6,6100

Tabla 6.5. Análisis de Varianza para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 55 °C de análisis experimental.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	2321,667	7	331,667	244,923	,000
Error	21,667	16	1,354		
Total	2630,241	23			

a. R al cuadrado = ,991 (R al cuadrado ajustada = ,987).

Tabla 6.5.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 55 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	Grupo				
		1	2	3	4	5
T6	3	17,1667				
T5	3		22,1667			
T2	3			29,1667		
T3	3			31,6667	31,6667	
T8	3				32,6667	
T1	3				34,6667	
T7	3					46,8333
T4	3					47,0000

Tabla 6.6. Análisis de Varianza para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 55 °C de análisis experimental.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	70,712	7	10,102	36,087	,000
Error	4,479	16	,280		
Total	75,191	23			

a. R al cuadrado = ,941 (R al cuadrado ajustada = ,915)

Tabla 6.6.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 55 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	Grupo			
		1	2	3	4
T6	3	7,7567			
T8	3	7,9700	7,9700		
T5	3	8,3900	8,3900	8,3900	
T2	3	8,8967	8,8967	8,8967	
T1	3		9,4500	9,4500	
T3	3			9,6133	
T4	3				12,3433
T7	3				12,4300

Tabla 6.7. Análisis de Varianza para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 65 °C de análisis experimental

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	462,068	7	66,010	679,987	,000
Error	1,553	16	,097		
Total	463,622	23			

a. R al cuadrado = ,997 (R al cuadrado ajustada = ,995)

Tabla 6.7.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 65 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	1	2	3	4
T8	3	7,0067			
T6	3	7,3467	7,3467		
T3	3		8,0267		
T7	3		8,1700		
T4	3			10,9267	
T2	3				16,9067
T1	3				17,0900
T5	3				17,2167

Tabla 6.8. *Análisis de Varianza para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 65 °C de análisis experimental.*

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	195,323	7	27,903	17,394	,000
Error	25,667	16	1,604		
Total	220,990	23			

a. R al cuadrado = ,884 (R al cuadrado ajustada = ,833)

Tabla 6.8.1. *Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 65 °C de análisis experimental.*

Tratamientos	Rep.	Grupo			
		1	2	3	4
T1	3	40,3333			
T3	3	42,5000	42,5000		
T2	3		45,5000	45,5000	
T5	3			46,3333	
T4	3			46,5000	46,5000
T7	3			47,3333	47,3333
T6	3			47,6667	47,6667
T8	3				50,0000

Tabla 6.9. *Análisis de Varianza para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 65 °C de análisis experimental.*

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	1377,180	7	196,740	219,361	,000
Error	14,350	16	,897		
Total	1391,530	23			

a. R al cuadrado = ,990 (R al cuadrado ajustada = ,985)

Tabla 6.9.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 65 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	Grupo			
		1	2	3	4
T3	3	13,9600			
T8	3	14,0233			
T6	3	14,0467			
T7	3	15,5167			
T4	3		20,4200		
T1	3			28,6400	
T2	3			31,0400	31,0400
T5	3				32,1033

Tabla 6.10. Análisis de Varianza para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 75 °C de análisis experimental.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	532,959	7	76,137	587,572	,000
Error	2,073	16	,130		
Total	535,033	23			

a. R al cuadrado = ,996 (R al cuadrado ajustada = ,995)

Tabla 6.7.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 75 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	Grupo				
		1	2	3	4	5
T6	3	9,7333				
T8	3	10,1200				
T3	3	10,3467				
T7	3	10,5967				
T4	3		14,0367			
T2	3			17,9400		
T1	3				20,4700	
T5	3					21,9600

Tabla 6.11. *Análisis de Varianza para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 75 °C de análisis experimental.*

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	1049,240	7	149,891	105,806	,000
Error	22,667	16	1,417		
Total	1071,906	23			

a. R al cuadrado = ,980 (R al cuadrado ajustada = ,971)

Tabla 6.11.1. *Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 75 °C de análisis experimental.*

Tratamientos	Rep.	Grupo		
		1	2	3
T3	3	40,1667		
T5	3	42,5000		
T8	3	42,6667		
T1	3	42,8333		
T6	3	43,1667		
T2	3		51,6667	
T7	3			56,8333
T4	3			57,6667

Tabla 6.12. *Análisis de Varianza para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 75 °C de análisis experimental.*

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	1877,765	7	268,252	209,252	,000
Error	20,471	16	1,279		
Total	1898,235	23			

a. R al cuadrado = ,989 (R al cuadrado ajustada = ,984)

Tabla 6.12.1. *Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad amarilla, aplicado a 75 °C de análisis experimental.*

Tratamientos	Rep.	Grupo			
		1	2	3	4
T6	3	17,1333			
T3	3	17,3000			
T8	3	17,6533			
T7	3		24,5500		
T4	3			33,1733	
T1	3			35,8467	35,8467
T2	3				37,1267
T5	3				38,1933

ANEXO 7. Análisis estadístico de determinación de CAA, ISA y PH de almidones nativos y pregelatinizados de mashua negra.

	Etiqueta de valor		N
Tratamientos	1,00	T1	3
	2,00	T2	3
	3,00	T3	3
	4,00	T4	3
	5,00	T5	3
	6,00	T6	3
	7,00	T7	3
	8,00	T8	3

Tabla 7.1. Análisis de Varianza para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 45 °C de análisis experimental.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	18,523	7	2,646	14,589	,000
Error	2,902	16	,181		
Total	21,425	23			

a. R al cuadrado = ,882 (R al cuadrado ajustada = ,829)

Tabla 7.1.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 45 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	Grupo	
		1	2
T2	3	2,6000	
T6	3	2,6333	
T1	3	2,9500	
T3	3	3,0100	
T5	3	3,0500	
T4	3	3,0867	
T7	3		4,5900
T8	3		5,1200

Tabla 7.2. Análisis de Varianza para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 45 °C de análisis experimental.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	1986,458	7	283,780	150,513	,000
Error	30,167	16	1,885		
Total	2016,625	23			

a. R al cuadrado = ,985 (R al cuadrado ajustada = ,978)

Tabla 7.2.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 45 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	1	2	Grupo 3	4	5
T8	3	20,3333				
T3	3		26,3333			
T6	3		27,5000			
T5	3		28,6667	28,6667		
T4	3			32,5000	32,5000	
T7	3				35,0000	
T1	3				35,6667	
T2	3					53,0000

Tabla 7.3. Análisis de Varianza para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 45 °C de análisis experimental.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	30,502	7	4,357	10,458	,000
Error	6,667	16	,417		
Total	37,169	23			

a. R al cuadrado = ,821 (R al cuadrado ajustada = ,742)

Tabla 7.3.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 45 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	1	Grupo 2	3
T6	3	3,6267		
T3	3	4,0833	4,0833	
T5	3	4,2733	4,2733	
T4	3	4,5667	4,5667	
T1	3	4,5733	4,5733	
T2	3		5,5433	5,5433
T8	3			6,4167
T7	3			7,0600

Tabla 7.4. *Análisis de Varianza para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 55 °C de análisis experimental.*

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	7,163	7	1,023	3,785	,013
Error	4,326	16	,270		
Total	11,489	23			

a. R al cuadrado = ,646 (R al cuadrado ajustada = ,489)

Tabla 7.4.1. *Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 55 °C de análisis experimental.*

Tratamientos	Rep.	Grupo	
		1	2
T1	3	5,5900	
T7	3	6,6967	6,6967
T8	3	6,8433	6,8433
T3	3	6,8867	6,8867
T2	3	7,0533	7,0533
T6	3		7,0733
T5	3		7,4100
T4	3		7,4633

Tabla 7.5. *Análisis de Varianza para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 55 °C de análisis experimental.*

Fuente	S.C	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	1065,740	7	152,249	59,901	,000
Error	40,667	16	2,542		
Total	1106,406	23			

a. b. R al cuadrado = ,968 (R al cuadrado ajustada = ,954)

Tabla 7.5.1. *Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 55 °C de análisis experimental*

Tratamientos	Rep.	Grupo					
		1	2	3	4	5	6
T5	3	25,1667					
T4	3	27,0000	27,0000				
T1	3		31,5000	31,5000			
T3	3			32,0000	32,0000		
T7	3			35,8333	35,8333	35,8333	
T6	3				36,3333	36,3333	
T2	3					37,6667	
T8	3						48,0000



Tabla 7.6. *Análisis de Varianza para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 55 °C de análisis experimental.*

Origen	S.C.	G.L.	C.M.	F	Sig.
Tratamientos	42,501	7	6,072	8,804	0,000
Error	11,035	16	,690		
Total	53,536	13			

a. R al cuadrado = ,827 (R al cuadrado ajustada = ,751)

b.

Tabla 7.6.1. *Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 55 °C de análisis experimental.*

Tratamientos	Rep.	Grupo		
		1	2	3
T1	3	8,1600		
T5	3	9,8967	9,8967	
T3	3	10,1333	10,1333	
T4	3	10,2267	10,2267	
T7	3	10,4367	10,4367	
T6	3		11,1067	11,1067
T2	3		11,3233	11,3233
T8	3			13,1633

Tabla 7.7. *Análisis de Varianza para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 65 °C de análisis experimental.*

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	475,718	7	67,960	1007,556	,000
Error	1,079	16	,067		
Total	476,797	23			

a. R al cuadrado = ,998 (R al cuadrado ajustada = ,997)

Tabla 7.7.1. *Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 65 °C de análisis experimental.*

Tratamientos	Rep.	Grupo						
		1	2	3	4	5	6	7
T8	3	8,0400						
T7	3		9,9100					
T2	3			11,0800				
T3	3				12,9767			
T1	3					15,7800		
T4	3					16,3267		
T6	3						20,3233	
T5	3							21,0500



Tabla 7.8. *Análisis de Varianza para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 65 °C de análisis experimental.*

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	228,260	7	32,609	9,528	,000
Error	54,760	16	3,423		
Total	283,020	23			

a. R al cuadrado = ,807 (R al cuadrado ajustada = ,722)

Tabla 7.8.1. *Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 65 °C de análisis experimental.*

Tratamientos	Rep.	Grupo		
		1	2	3
T3	3	47,1667		
T5	3	48,4000	48,4000	
T6	3	49,8333	49,8333	
T4	3	50,5000	50,5000	
T1	3	52,3333	52,3333	
T7	3		52,6667	52,6667
T8	3		52,8333	52,8333
T2	3			57,8333

Tabla 7.9. *Análisis de Varianza para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 65 °C de análisis experimental.*

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	1614,005	7	230,572	134,204	,000
Error	27,489	16	1,718		
Total	1641,494	23			

a. R al cuadrado = ,983 (R al cuadrado ajustada = ,976)

Tabla 7.9.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 65 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	1	2	Grupo 3	4	5
T8	3	17,0500				
T7	3		20,9400			
T3	3		24,5833	24,5833		
T2	3			26,2900		
T4	3				33,0933	
T1	3				33,1267	
T6	3					40,5233
T5	3					40,8000

Tabla 7.10. Análisis de Varianza para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 75 °C de análisis experimental.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	659,782	7	94,255	346,662	,000
Error	4,350	16	,272		
Total	664,133	23			

a. R al cuadrado = ,993 (R al cuadrado ajustada = ,991)

Tabla 7.10.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para CAA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 75 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	1	2	Grupo 3	4	5
T8	3	8,3733				
T7	3		12,8100			
T4	3			18,9000		
T3	3				21,4267	21,4267
T1	3				21,5800	21,5800
T6	3				21,7767	21,7767
T2	3				22,6767	22,6767
T5	3					24,9100

Tabla 7.11. Análisis de Varianza para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 75 °C de análisis experimental.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	746,167	7	106,595	111,230	,000
Error	15,333	16	,958		
Total	761,500	23			

a. R al cuadrado = ,980 (R al cuadrado ajustada = ,971)

Tabla 7.11.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para para ISA de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 75 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	Grupo					
		1	2	3	4	5	6
T7	3	39,3333					
T1	3		44,6667				
T2	3		45,8333	45,8333			
T5	3			48,0000			
T6	3				51,3333		
T3	3				52,5000	52,5000	
T4	3					54,5000	
T8	3						57,8333

Tabla 7.12. Análisis de Varianza para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 75 °C de análisis experimental.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	2510,201	7	358,600	252,543	,000
Error	22,719	16	1,420		
Total	2532,921	23			

a. R al cuadrado = ,991 (R al cuadrado ajustada = ,987).

Tabla 7.12.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para PH de almidones nativo y pregelatinizados de la variedad negra, aplicado a 75 °C de análisis experimental.

Tratamientos	Rep.	Grupo				
		1	2	3	4	5
T8	3	19,8667				
T7	3	21,0967				
T1	3		38,9967			
T4	3		41,5567	41,5567		
T2	3		41,8667	41,8667	41,8667	
T6	3			44,7633	44,7633	44,7633
T3	3				45,1167	45,1167
T5	3					47,9100

ANEXO 8. Análisis estadístico de determinación de viscosidad, índice de comportamiento de flujo e índice de consistencia de almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla y negra.

Tabla 8.1. Valores de viscosidad a 25°C y 60°C de almidones nativo y pregelatinizado de mashua amarilla y negra.

Almidón	Viscosidad				Viscosidad			
	25°C				60°C			
	RPM (m.Pa.s.)				RPM (m.Pa.s.)			
	6	12	30	60	6	12	30	60
AN-A	10472,80	7118,07	3501,00	1795,60	8505,90	5575,10	2870,00	1564,80
AN-N	11845,97	8034,27	3472,43	1796,67	11719,30	7398,87	3474,57	1796,03
APG-A	9608,37	4790,00	2686,17	1567,70	8374,40	4449,10	2195,53	1211,57
APG-N	11939,30	8753,97	3474,33	1796,70	11825,70	7431,87	3474,57	1796,33

Tabla 8.1.2. ANOVA del índice de comportamiento de flujo e índice de consistencia a 25°C de almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla y negra.

Fuente	Variable dependiente	S.C.	G.L.	C.M.	F	Sig.
Tratamientos	n	,017	3	,006	717,461	,000
	K	69,162	3	23,054	2072,599	,000
Error	n	6,172E-5	8	7,7156		
	K	,089	8	,011		
Total	N	,017	11			
	K	69,251	11			

a. R al cuadrado = ,996 (R al cuadrado ajustada = ,995)

b. R al cuadrado = ,999 (R al cuadrado ajustada = ,998)

Tabla 8.1.3. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para índice de comportamiento de flujo a 25°C de almidones nativo y pregelatinizado de mashua negra y amarilla.

Tratamientos	Rep.	Grupo		
		1	2	3
APG-N	3	,1521		
AN-N	3		,1677	
AN-A	3			,2330
APG-A	3			,2339

Tabla 8.1.4. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para índice de consistencia a 25°C de almidones nativo y pregelatinizado de mashua negra y amarilla.

Tratamientos	Rep.	Grupo			
		1	2	3	4
APG-A	3	11,632			
AN-A	3		14,5248		
AN-N	3			16,9787	
APG-N	3				17,7898

Tabla 8.4. ANOVA del índice de comportamiento de flujo e índice de consistencia a 60°C de almidones nativos y pregelatinizados de mashua amarilla y negra.

Fuente	Variable dependiente	S.C.	G.L.	C.M.	F.	Sig.
Tratamientos	n	,038	3	,013	275,433	,000
	K	62,665	3	20,888	455,229	,000
Error	n	,000	8	4,6235		
	K	,367	8	,046		
Total	n	,039	11			
	K	63,032	11			

a. R al cuadrado = ,990 (R al cuadrado ajustada = ,987)

b. R al cuadrado = ,994 (R al cuadrado ajustada = ,992)



Tabla 8.4.1. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para índice de comportamiento de flujo a 60°C de almidones nativo y pregelatinizado de mashua negra y amarilla.

Tratamientos	Rep.	Grupo		
		1	2	3
APG-A	3	,2178		
APG-N	3		,2495	
AN-N	3		,2542	
AN-A	3			,3667

Tabla 8.4.2. Pruebas de comparación de medias HSD Tukey para índice de consistencia a 60 °C de almidones nativo y pregelatinizado de mashua negra y amarilla.

Tratamientos	Rep.	Grupo		
		1	2	3
AN-A	3	9,1453		
APG-A	3		9,7572	
AN-N	3			13,9241
APG-N	3			14,0756

ANEXO 9. Fotografías del proceso de ejecución.

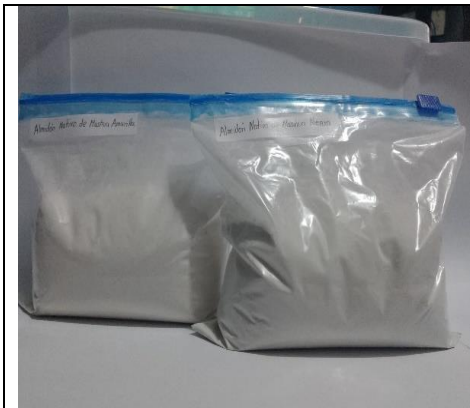


Figura 9.1. Almidón nativo de mashua negra y amarilla.



Figura 9.2. Almidones pregelatinizados de dos variedades de mashua.



Figura 9.2.1. Trata amientos de almidones pregelatinizados de dos variedades de mashua.



Figura 9.2.2. Almidones pregelatinizados de mashua amarilla y negra.



Figura 9.3. Equipo molino refinador.



Figura 9.3.1. Almidón refinado.



Figura 9.4. Determinación de tamaño de partícula mediante el tamizador Ro-Tap.



Figura 9.5. Reactivos para determinar el Contenido de amilosa y amilopectina.



Figura 9.5.1. Almidones gelatinización de dos almidones de variedades de mashua con NaOH y etanol.

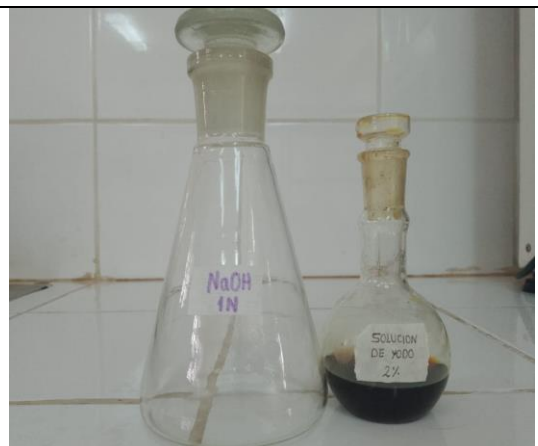


Figura 9.5.2. solución de NaOH y solución de yodo.



Figura 9.5.3. Muestras de almidones después del proceso complejo de yodo.



Figura 9.5.4 Muestra blanco para la determinación de amilosa.



Figura 9.5.6. Equipo espectrofotómetro para lecturas de absorbancia y determinación de amilosa.



Figura 9.6. Equipo balanza de humedad para la determinación de humedad en los almidones nativos y pregelatinizados.



Figura 9.7. Equipo mufla para la determinación de cenizas de los almidones.



Figura 9.8. Equipo soxhlet par determinación de grasa en los almidones.



Figura 11.9. Proceso de digestión de las muestras en equipo Cocina de digestión.



Figura 11.9.1. Muestras digeridas.



Figura 9.9-2. Muestras digeridas color verde manzana.

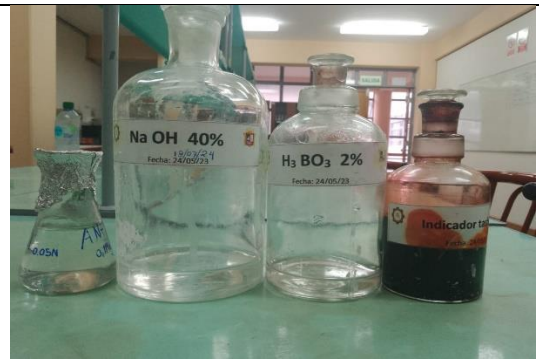


Figura 9.9.3. Reactivos continuar con el proceso de determinación de proteínas.



Figura 9.9.4 Equipo Kjeldahl.



Figura 9.9.5 Determinación de proteínas de los almidones nativos y pregelatinizados.



Figura 9.9.6 Titulación de muestras para determinar el porcentaje de nitrógeno.



Figura 9.9.7. Titulación de muestras para determinar el porcentaje de nitrógeno.

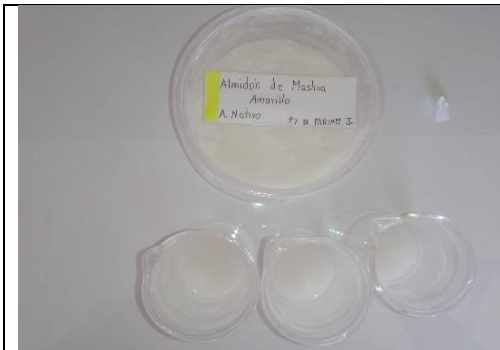


Figura 9.10. Preparación de muestras de almidón de mashua amarilla para determinación de propiedades funcionales.



Figura 9.11. Preparación de muestras de almidón de mashua negra para determinación de propiedades funcionales.



Figura 9.12. Equipo baño maría para determinar las propiedades funcionales.



Figura 9.13. Equipo centrifuga.



Figura 9.13.1. Centrifugado de las muestras de almidones nativos y pregelatinizados de dos variedades de mashua.

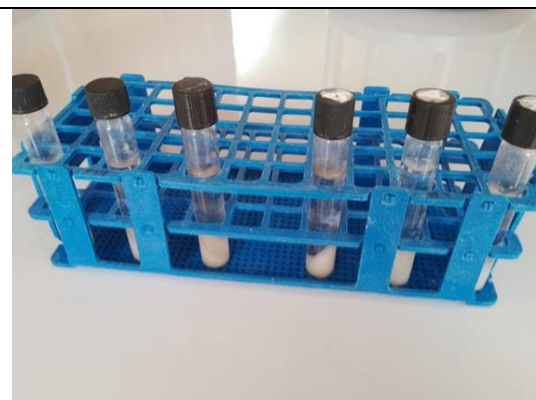


Figura 9.14. Determinación de propiedades funcionales a 45 °C sometido a baño maría.

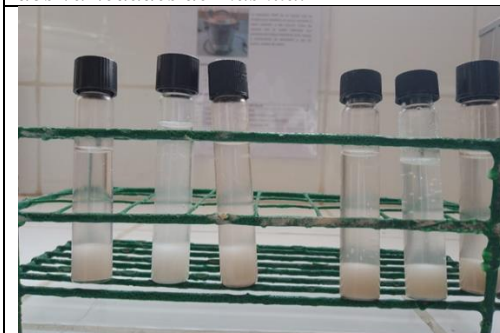


Figura 9.15 Determinación de propiedades funcionales a 55°C en baño maría.

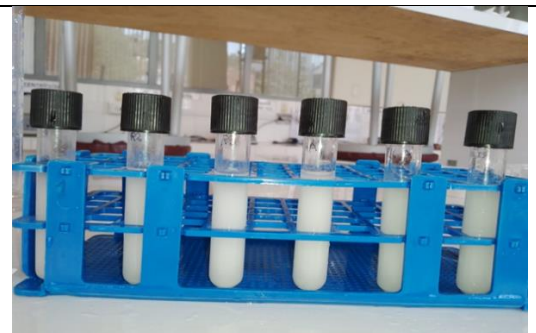


Figura 9.16 Determinación de propiedades funcionales a 65°C en baño maría.



Figura 9.17 Determinación de propiedades funcionales a 75°C en baño maría.

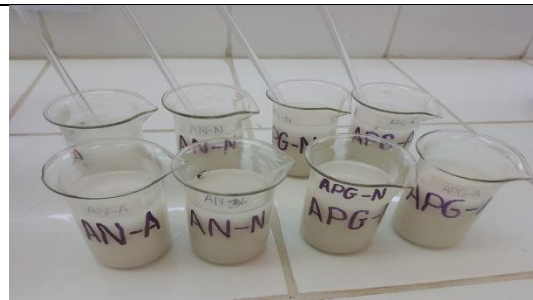


Figura 9.18. Almidones gelatinizados de dos variedades de mashua para determinar el comportamiento reológico.



Figura 9.19. Equipo viscosímetro, mediciones de viscosidad de dos variedades de mashua.



Figura 9.20. Equipo viscosímetro, lecturas del dial del torque.



ANEXO 10. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Jesus Miriam Cutipa Quincho
identificado con DNI 70261991 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería agroindustrial

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
“Caracterización de las propiedades fisicoquímicas, funcionales
y reológicas del almidón nativo y pregelatinizado de dos
variedades de mashua (Tropaeolum tuberosum) de la región de Puno”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 20 de diciembre del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 11. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Jesus Miriam Cutipa Quincho
identificado con DNI 70261991 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería agroindustrial

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“Caracterización de las propiedades físicoquímicas, Funcionales y reológicas del almidón nativo y pregelatinizado de dos variedades de mashua (Tropaeolum tuberosum) de la región de Puno”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 20 de diciembre del 2024

M. Cutipa

FIRMA (obligatoria)



Huella