

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



Presentado por
Bach. YENIR QUISPE RUIZ

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y PROPIEDADES
FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE MASHUA
(*Tropaeolum tuberosum*) DE LAS VARIEDADES
AMARILLA Y NEGRA**

Asesor:

Ing. MSc. THOMAS ANCCO VIZCARRA

Co-Asesor:

Ing. GINA GENOVEVA TORO RODRIGUEZ

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

ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ

2018

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



Presentado por
Bach. YENIR QUISPE RUIZ

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y PROPIEDADES
FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE MASHUA
(*Tropaeolum tuberosum*) DE LAS VARIEDADES
AMARILLA Y NEGRA**

Asesor:

Ing. MSc. THOMAS ANCCO VIZCARRA

Co-Asesor:

Ing. GINA GENOVEVA TORO RODRIGUEZ

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

ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ

2018

Dedicatoria

A mis queridos padres Pablo Quispe Taípe y María Ruiz Caballero, por su apoyo, consejos, paciencia, regaños merecidos y el cariño que me tienen; a mis hermanas Sandra, Olfa, Shirley y Evelin por su apoyo incondicional y humor que ponen en mi vida y en especial a mi amigo Rossel, por su ayuda y aportes en esta investigación.

Yenir.



APROBACIÓN DEL ASESOR Y CO-ASESOR DE TESIS

Los que suscriben:

MSc. Thomas Ancco Vizcarra, identificado con CIP N° 62283, docente Principal a Dedicación Exclusiva y la **Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez**, identificado con CIP N° 77477 docente Asociado a Tiempo Completo, adscritos al Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología Agroindustrial, por la presente hacen constar:

CERTIFICA,

Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial, **YENIR QUISPE RUIZ** ha culminado satisfactoriamente el Informe Final de Tesis intitulado:

"CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) DE LAS VARIEDADES AMARILLA Y NEGRA", para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Andahuaylas, 26 de setiembre del 2018



.....
M.Sc. Thomas Ancco Vizcarra
Asesor



.....
Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez
Co-Asesor



.....
Bach. Yenir Quispe Ruiz
Tesisista



FACULTAD DE INGENIERIA

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En la Av. 28 de julio N° 1103 del Local Académico SL02 (Santa Rosa) en el Salón de Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas ubicado en el distrito de Talavera de la Reyna de la Provincia de Andahuaylas, siendo las 11:00 horas del día 22 de agosto del año 2018, se reunieron los docentes ordinarios: Ing. Fredy Taípe Pardo, Ing. Juvenal Rivas Leguía, Mg. Denis Hernán Gutiérrez Martínez, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE MASHUA (*TROPAEOLUM TUBEROSUM*) DE LAS VARIETADES AMARILLA Y NEGRA", cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial YENIR QUISPE RUIZ, el asesor MSc. Thomas Ancco Vizcarra y la Co-Asesora Ing. Gina Genoveva Toro Rodríguez, con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa de la tesis, el Jurado Evaluador ACORDÓ: APROBAR por UNANIMIDAD al Bachiller en Ingeniería Agroindustrial YENIR QUISPE RUIZ, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
16	DIECISEIS	MUY BUENO

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


.....
Ing. Fredy Taípe Pardo
Presidente del Jurado Evaluador


.....
Ing. Juvenal Rivas Leguía
Primer Miembro del Jurado Evaluador


.....
Mg. Denis Hernán Gutiérrez Martínez
Segundo Miembro del Jurado Evaluador



APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR

La tesis: "CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) DE LAS VARIETADES AMARILLA Y NEGRA"; para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial ha sido evaluada por el Jurado Dictaminador conformado por:

Presidente: Ing. Fredy Taipe Pardo

Primer miembro: Ing. Juvenal Rivas Leguía

Segundo miembro: Mg. Denis Hernán Gutiérrez Martínez

Habiendo sido aprobado por unanimidad, en la ciudad de Talavera el día 22 de agosto del 2018.

Talavera 26 de setiembre del 2018

Atentamente,

Ing. Fredy Taipe Pardo
Presidente del Jurado Evaluador

Ing. Juvenal Rivas Leguía
Primer Miembro del Jurado Evaluador

Mg. Denis Hernán Gutiérrez Martínez
Segundo Miembro del Jurado Evaluador

Agradecimientos

A Dios, por la vida y las fuerzas que me da para enfrentar las dificultades.

A mis padres, por todo lo que me han brindado siempre. Estoy totalmente agradecido por ser tan preocupados por mi persona, por todo el esfuerzo que les ha demandado mi educación.

A mis hermanos y demás familiares, por el apoyo que siempre me brindaron en el transcurso de mis estudios universitarios.

A mis asesores, Ing. MSc. Thomas Ancco Viscarra e Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez, por sus valiosos aportes, sugerencias, comprensión y paciencia durante la ejecución de la tesis.

A los miembros del jurado evaluador, Ing. Fredy Taipe Pardo, Ing. Juvenal Rivas Leguía y Mg. Denis Hernán Gutiérrez Martínez, por sus aportes al desarrollo y culminación de la presente tesis.

Al Ing. Herson Danny Arone Palomino, responsable del laboratorio de química de la EPIA, por el apoyo recibido durante la ejecución de esta investigación.

A mis amigos y compañeros: Rossel, David, Yudy, Ever, Cristian, Abel y Marianela por su apoyo y por los momentos compartidos.

Índice

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	2
2.1. Antecedentes.....	2
2.2. La mashua.....	5
2.2.1. Composición química de la mashua	6
2.2.2. Variedades de mashua	6
2.2.2.1. Mashua variedad negra	7
2.2.2.2. Mashua variedad amarilla	7
2.3. Almidón.....	7
2.3.1. Características químicas del almidón.....	8
2.3.1.1. Amilosa	9
2.3.1.2. Amilopectina	10
2.3.2. Propiedades funcionales del almidón.....	11
2.3.2.1. Hidratación y gelatinización del almidón.....	12
2.3.2.2. Índice de absorción en agua	13
2.3.2.3. Índice de solubilidad en agua.....	13
2.3.3. Poder de hinchamiento	14
2.3.3.1. Propiedades de pasta	14
2.3.4. Usos del almidón	16
2.3.4.1. Usos en productos alimentarios	16
2.3.4.2. Industria farmacéutica y cosmética	17
CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Lugar de ejecución.....	18
3.2. Material de estudio.....	18
3.2.1. Universo y/o población.....	18
3.2.2. Muestra.....	18
3.3. Equipos, materiales, reactivos e insumos de laboratorio.....	19

3.3.1. Equipos e instrumentos	19
3.3.2. Materiales	19
3.3.3. Reactivos	19
3.4. Metodología experimental.....	20
3.4.1. Extracción del almidón.....	20
3.4.2. Determinación de las características químicas	21
3.4.2.1. Amilosa y amilopectina	21
3.4.3. Determinación de las propiedades funcionales	24
3.4.3.1. Temperatura de gelatinización	24
3.4.3.2. Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento	24
3.4.3.3. Determinación de las propiedades de la pasta.....	25
3.4.4. Diseño experimental y análisis estadístico.....	25
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1. Características químicas.....	28
4.1.1. Amilosa y amilopectina	28
4.2. Propiedades funcionales.....	29
4.2.1. Temperatura de gelatinización.....	29
4.2.2. Índice de absorción de agua	30
4.2.3. Índice de solubilidad en agua.....	31
4.2.4. Poder de hinchamiento	32
4.2.5. Propiedades de pasta	34
CONCLUSIONES.....	40
RECOMENDACIONES.....	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
ANEXO.....	47

Índice de tablas

Tabla 1. Composición química de la mashua.....	6
Tabla 2. Variedades de mashua.	7
Tabla 3. Contenido de amilosa de algunos almidones.	10
Tabla 4. Temperatura de gelatinización y gel de algunos almidones.	12
Tabla 5. Soluciones estándar para la curva de calibración.	22
Tabla 6. Matriz de diseño experimental.	26
Tabla 7. Tabla ANOVA para el diseño completamente al azar.	27
Tabla 8. Contenido de amilosa y amilopectina.....	28
Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de amilosa.	28
Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de amilopectina.....	28
Tabla 11. Temperatura de gelatinización.	29
Tabla 12. Análisis de varianza (ANOVA) de la temperatura de gelatinización.	30
Tabla 13. Índice de absorción de agua.	30
Tabla 14. Análisis de varianza (ANOVA) del índice de absorción de agua.	31
Tabla 15. Índice de solubilidad en agua.....	31
Tabla 16. Análisis de varianza (ANOVA) del índice de solubilidad en agua.	32
Tabla 17. Poder de hinchamiento.	32
Tabla 18. Análisis de varianza (ANOVA) del poder de hinchamiento.....	33
Tabla 19. Viscosidad máxima.	34
Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA) de la viscosidad máxima.	34
Tabla 21. Viscosidad mínima.....	35
Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) de la viscosidad mínima.....	36
Tabla 23. Viscosidad final.....	36
Tabla 24. Análisis de varianza (ANOVA) de la viscosidad final.....	37
Tabla 25. Breakdown o inestabilidad del gel.....	37
Tabla 26. Análisis de varianza (ANOVA) del breakdown o inestabilidad del gel.	37

Tabla 27. Setback o recuperación.	38
Tabla 28. Análisis de varianza (ANOVA) del Setback o recuperación.....	38

Índice de figuras

Figura 1. Estructura molecular de la amilosa.	9
Figura 2. Estructura molecular de la amilopectina.....	11
Figura 3. Perfil de viscosidad de pasta de almidón obtenido en el RVA.....	16
Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de extracción del almidón de mashua.	20
Figura 5. Perfil de viscosidad de pasta de los almidones de mashua amarilla y negra.	39

Índice de anexos

Anexo 1. Rendimiento de almidón.	47
Anexo 2. Curva estándar de amilosa.	47
Anexo 3. Resultados de las características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua de las variedades amarilla y negra.	47
Anexo 4. Fotografías de las variedades de mashua.	49
Anexo 5. Fotografías de la realización de la parte experimental.	49
Anexo 6. Matriz de consistencia.	52

Abreviaturas, símbolos y unidades

mL	: Mililitro
kg	: Kilogramo
cm	: Centímetro
μ	: Micra
mg	: Miligramo
g	: Gramos
L	: Litros
cP	: Centipoise
m/v	: Relación masa - volumen
v/v	: Relación volumen – volumen
m s. n. m.:	Metros sobre el nivel del mar
DCA	: Diseño completamente al azar
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
ISO	: Organización Internacional de Normalización
RVA	: Analizador Rápido de Viscosidad
ANOVA	: Análisis de Varianza
RPM	: Revoluciones por minuto
VA	: Mashua variedad amarilla
VN	: Mashua variedad negra
°C	: Grados Celsius
N	: Normalidad de una sustancia
M	: Molaridad de una sustancia
%	: Porcentaje

Resumen

El presente trabajo de investigación se desarrolló sobre las “Características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) de las variedades amarilla y negra”, con el objetivo de determinar y comparar el contenido de amilosa, amilopectina, temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad, poder de hinchamiento y propiedades de pasta de los almidones aislados de mashua de las variedades amarilla (VA) y negra (VN), cultivados en la Comunidad de Huancabamba, Distrito José María Arguedas en la Región de Apurímac.

Los resultados obtenidos se analizaron mediante el Diseño Estadístico Completamente al Azar (DCA). Las características químicas (amilosa y amilopectina) se determinaron mediante el método de espectrofotometría, obteniéndose 24.16 % de amilosa en VN, seguida por VA con 23.58 %. El almidón de mashua negra presentó menor temperatura de gelatinización (59.57 °C), frente a la VA (63.40 °C). El índice de absorción de agua fue similar en ambas variedades 27.73 g gel/g muestra en VA y 28.73 g gel/g muestra en VN. El almidón de mashua negra presentó alto poder de hinchamiento y alta solubilidad en agua, poder de hinchamiento de 39.51 % en VN y 30.29 % en VA, solubilidad de 18.02 % en VN y 8.44 % en VA. Las propiedades de pasta fueron determinadas mediante un analizador rápido de viscosidad (RVA), observándose que la viscosidad presentó un rápido ascenso llegando hasta un máximo (viscosidad máxima) de 6388.31 cP en VN y 6583.05 cP en VA, posteriormente se observó un descenso de la viscosidad (inestabilidad de gel) de 5073.76 cP en VN y 5339.94 cP en VA, la recuperación o setback fue de 1301.35 cP en VA y 891.277 en VN.

Los resultados obtenidos indican que los almidones de mashua variedad amarilla y negra tienen bajo contenido de amilosa, son de cocción rápida, alto poder de hinchamiento, alta solubilidad en agua y elevada viscosidad; pero una baja estabilidad a la cocción bajo agitación o acción mecánica.

Palabras claves: Mashua, almidón, características químicas y propiedades funcionales.

Abstract

This research work was developed on the "Chemical characteristics and functional properties of mashua starch (*Tropaeolum tuberosum*) of the yellow and black varieties", with the aim of determining and comparing the amylose content, amylopectin, gelatinization temperature, index of water absorption, solubility index, swelling power and paste properties of the isolated mashua starches of the yellow (VA) and black (VN) varieties grown in the Community of Huancabamba, José María Arguedas District in the Apurímac Region .

The results obtained were analyzed through the Completely Random Statistical Design (DCA). The chemical characteristics (amylose and amylopectin) were determined by the spectrophotometry method, obtaining 24.16% of amylose in VN, followed by VA with 23.58%. The black mashua starch had lower gelatinization temperature (59.57 ° C), compared to the VA (63.40 ° C). The water absorption index was similar in both varieties 27.73 g gel / g sample in VA and 28.73 g gel / g sample in VN. The black mashua starch showed high swelling power and high solubility in water, swelling power of 39.51% in VN and 30.29% in VA, solubility of 18.02% in VN and 8.44% in VA. The paste properties were determined by means of a rapid viscosity analyzer (RVA), observing that the viscosity showed a rapid rise reaching a maximum (maximum viscosity) of 6388.31 cP in VN and 6583.05 cP in VA, afterwards a decrease in viscosity was observed. viscosity (gel instability) of 5073.76 cP in VN and 5339.94 cP in VA, recovery or setback was 1301.35 cP in VA and 891.277 in VN.

The obtained results indicate that the mashua starches yellow and black variety have low content of amylose, they are of fast cooking, high power of swelling, high solubility in water and high viscosity; but a low stability to the cooking under agitation or mechanical action.

Keywords: Mashua, starch, chemical characteristics and functional properties.

Chumasqa

Kay taripay qillqam qispirun “qillu hinataq yana maswapa (*Tropaeolum tuberosum*) akunkunpa química hinataq imapaqpas niraqninkuna kaqninkunamanta”, chaymi qispiynin karqa tariy hinataq tinkuchiy amilosanta, amilopectinanta, lluklluyayninta, yaku suquyninta, yakupi chulluyninta, punkiyayninta, chulluyayninta hinataq llukllupa niraqninkunata chay qillu (VA) hitanaq yana (VN) maswapa akunkumpata, Comunidad Huancabambapi, Distrito José María Arguedaspi, Apurímac suyupi tarpusqankuta.

Yachasqaykuqa Diseño Completamente al Azarwan (DCA) rurasqa karqa. Química niraqninga (amilosa hinataq amilopectina) método espectrofotometrikuwan rurasqam, chaywanmi 24.16 % amilosa yana maswapi, hinataq 23.58 % (VA) yachakurqa. Yana maswapa akuynimpa lluklluyaynin pisillam karqa (59.57 °C) qillu maswapañataq 63.40 °C karqa. Yaku suquyninñataqmi yaqa iscayninpin hinakaqla karqa: 27.73 g gel/g muestra (VA) hinataq 28.73 g gel/g muestra (VN). Yana maswapa akun ancha punkiy atiyuniyuq chaynallataq yakupi chulluyninpas karqa; punquiy atiyninga 39.51 % (VN) hinataq 30.29 % (VA), yakupi chulluyninñataq 18.02 % (VN) hinataq 8.44 % (VA) karqa. Llukllupa niraqninkunaqa analizador rápido de viscosidadwan (RVA) taripasqam, chaywanmi pipuyayninta qawaricurqa, chaywanmi puchukay pipuyaymanmi 6388.31 cP (VN) hinallataqmi 6583.05 cP (VA) ayparqaku, chaymantañataq pipuyayninpa uraykamuyayninta (llukllupa inestabilidadninta) qawarikurqa, chaymi 5073.76 cP (VN) hinataq 5339.94 cP (VA) karqa; pipuyaynimp huqarikuyninñataqmi (setback) 1301.35 cP (VA) hinallataqmi 891.277 (VN) kasqanta qawarikurqa.

Chayraykum chay qillu hinataq yana maswapa akunkun pisi amilosayuq kasqanta yacharqaniku, chaymi utqayllaman yanukuq, ancha punkiy atiyuniyuq, ancha yakupi chulluyniyuq hinataq llumpay pipuyniyuq; ichaqa pisillam takyaq kanin utqayman qaychispa yanukuptin ima.

Tiksi rimaykuna: maswa, akunku, química niraqninkuna hinallataq imapaq kasqantapas.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Los almidones extraídos de raíces y tubérculos poco conocidos se han convertido en productos de suma importancia para la industria. La tendencia actual de consumir productos naturales ha despertado el interés de búsqueda y estudio de nuevas fuentes de almidón que puedan sustituir a los almidones químicamente modificados. De esta forma, las industrias se encuentran interesadas en la identificación de almidones con características químicas y propiedades funcionales específicas (Valcárcel, 2010).

La mashua, es el tubérculo menos difundido de los andes y sigue siendo un producto sin un aprovechamiento óptimo como recurso alimentario, sin ningún uso industrial alternativo que contribuya a diversificar su utilización (Grau, Ortega, Nieto, y Hermann, 2003). Uno de los componentes de éste tubérculo es el almidón. El almidón es una sustancia de reserva alimenticia propia de las plantas y está compuesto de dos polisacáridos muy similares, amilosa y amilopectina. El almidón es una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los productos; además, tiene un papel muy importante en la aceptabilidad y palatabilidad de numerosos productos alimenticios.

Las propiedades funcionales del almidón son los responsables de afectar y modificar las características de los alimentos y contribuir a la calidad final del producto (Badui, 2013). Por ello es necesario conocer las propiedades funcionales ya que éstas determinan en última instancia su uso.

El objetivo del presente trabajo fue determinar y comparar las características químicas y propiedades funcionales como el contenido de amilosa/amilopectina, temperatura de gelatinización, índice de solubilidad, poder de hinchamiento, índice de absorción de agua y propiedades de pasta del almidón de mashua de las variedades amarilla y negra.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

- Hermosa (2013), en la investigación “Caracterización de almidones de dos tubérculos andinos: isaño (*Tropaeolum tuberosum* R&P) y oca (*Oxalis tuberosa* Mol.)”, señala que la mashua (variedad amarilla) tiene un rendimiento de almidón de 3.65 %, la solubilidad y el poder de hinchamiento aumentaron a medida que se incrementó la temperatura; solubilidad de 14.48 % y 6.43 % de poder de hinchamiento, ambos a 60 °C.
- Grados y Gutiérrez (2010), en la investigación “Caracterización fisicoquímica y reológica del almidón de *Tropaeolum tuberosum*, variedad amarilla proveniente de San Marcos – Cajamarca y Otuzco – La Libertad”, obtuvo los siguientes resultados en las muestras La Libertad/Cajamarca: contenido de amilosa de 30.067 %/31.667 %, contenido de amilopectina de 69.933 %/68.333, porcentaje de hinchamiento de 9.05 %/8.98 % y porcentaje de solubilidad 12.18 %/13.60 %, ambos determinados a 60 °C. En conclusión, las características fisicoquímicas del almidón de ambas muestras fueron similares.
- Valcárcel (2010) en la investigación “Caracterización fisicoquímica y funcional de almidón de tuberosas originarias de América del Sur: oca (*Oxalis tuberosa* Mol.), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) y mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón)”, reporta que el almidón de mashua tiene un rendimiento de 1.70 % (base húmeda), amilosa de 27.44 %, índice de absorción de agua de 33.5 g gel/g muestra, poder de hinchamiento de 45 %. Según las propiedades de pasta analizadas en un Analizador de Viscosidad Rápido (RVA), obtuvo una viscosidad máxima de 6202 ± 140.71 cP, viscosidad mínima de 2203.75 ± 21.48 cP, viscosidad final de 2541 ± 57.70 cP, Breakdown o inestabilidad del gel de 3899 ± 73.78 cP y Setback o recuperación de 314.33 ± 30.17 cP. Además, señala que el contenido de fósforo del almidón de mashua (0.081 %) es elevado en comparación con el almidón de oca y olluco. En conclusión, el almidón de mashua es de fácil cocción, elevado grado de hinchamiento y solubilidad

con alta viscosidad en caliente y baja estabilidad al cocinar bajo agitación o acción mecánica.

- Díaz (2015), en la investigación “Determinación de las propiedades físicas, químicas, tecnofuncionales y la estabilidad en congelación/descongelación del almidón de cuatro variedades de ***Solanum tuberosum ssp. andigenum*** (papa nativa)”, reporta que los almidones de las cuatro variedades de papa nativa, tienen un rango de amilosa entre 32.687 - 40.267 % y amilopectina de 59.733 - 67.313 %. La temperatura de gelatinización tuvo un rango de 63.9 - 70.0 °C; índice de absorción de agua de 6.332 - 10.278 g gel/g muestra; índice de solubilidad en agua de 2.03 - 2.85 % y poder de hinchamiento de 6.380 - 10.253 %, evaluados a 30 °C. En conclusión, los almidones de la papa nativa presentaron un alto contenido de amilosa, alto poder de hinchamiento, un gel claro y una baja solubilidad.
- Alvis, Vélez, Villada y Mendoza (2008) en la investigación “Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas”, determinaron la viscosidad de la pasta mediante el Analizador de Viscosidad Rápido (RVA), reportando temperatura de gelatinización de 66 °C, viscosidad máxima 1428 cP, breakdown o inestabilidad del gel 132 cP, Setback o recuperación 132 cP, todo ello para el almidón de papa; mientras el almidón de yuca obtuvo 62 °C de temperatura de gelatinización, viscosidad máxima 756 cP, breakdown o inestabilidad del gel 168 cP, Setback o recuperación 160 cP.
- Arzapalo, Huamán, Quispe y Espinosa (2015), en la investigación “Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (***Chenopodium quinoa Willd***) negra Collana, Pasankalla roja y blanca Junín”, señala que las variedades tienen un rango de temperatura de gelatinización de 66 – 69 °C, índice de absorción de agua 5 g gel/ g muestra, restringido poder de hinchamiento de 0.7 % y bajo índice de solubilidad 5 %, ello muestra que los gránulos tienen fuerzas o enlaces de unión muy fuertes.
- García, Pinzón y Sánchez (2013), en la investigación “Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, ***Manihot esculenta***, variedad

ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles”, obtuvo un valor promedio de amilosa de 30.68 %, amilopectina 69.32 %, índice de absorción de agua en un rango de 10,7 – 11,1 g gel / g almidón, índice de solubilidad en agua de 2 – 3,3 % y el poder de hinchamiento de 10,8 – 11,6 %.

- Véliz (2011), en la investigación “Caracterización fisicoquímica y reológica del almidón de plátano (*Musa paradisiaca* AAB) variedad guineo verde o hartón cultivado en la Provincia de Jaén”, reportó temperatura de gelatinización de 70 – 80 °C, índice de solubilidad en agua de 1.8 %, poder de hinchamiento de 1.5 %, contenido de 23.80 % de amilosa, y 76.20 % de amilopectina.
- Ojeda (2008), en la investigación “Comparación de Algunas Propiedades Físicas y Composición Química del Almidón de Piñón (*Araucaria araucana* (Mol) K. Koch), Papa (*Solanum tuberosum* L. ssp. *tuberosum* Hawkes) y Maíz (*Zea mays* L.)”, reportó que el almidón de papa tiene 47.79 % de amilosa, 52.21 % de amilopectina y 62.62 °C de temperatura de gelatinización, por otro lado, señala que el almidón de maíz tiene 42,58 % de amilosa, 57.42 de amilopectina y 70.81 °C de temperatura de gelatinización.
- Noda, Kobayashi y Suda (2001), en la investigación “Efecto de la temperatura del suelo en las propiedades del almidón de las batatas”, determinaron el contenido de amilosa del almidón de dos cultivares de camote cultivados en 4 temperaturas de suelo (15, 21, 27 y 33 °C) y reportaron bajo contenido de amilosa cuando el camote se cultivó a temperaturas de suelo de 15 y 21 ° C, al aumentar la temperatura del suelo de 15 a 33 °C, el contenido de amilosa aumentó aproximadamente 5.0 %. Los resultados indicaron que el contenido de amilosa/amilopectina es influenciado por las condiciones climáticas y por el tipo de suelo.

2.2. La mashua

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es un tubérculo comestible oriundo de los andes fríos y templados (Fano y Benavides 1992, Hermann y Heller 1997 citados por Grau et al., 2003).

Es una planta que pertenece a la familia de las Tropeoláceas, es herbácea anual de crecimiento erecto cuando es tierna y de tallos postrados con follaje compacto cuando madura; las hojas son redondeadas de 4 - 6 cm de largo y 5 - 7 cm de ancho, la superficie superior es de color verde oscuro, mientras que la superficie inferior es verde pálido con marcada nervadura palmar púrpura; las flores son solitarias colocadas en pedúnculos largos (15 - 25 cm) de color rojizo a amarillento. Los tubérculos son de forma cónica, de 5 - 15 cm de largo y 3 - 6 cm de ancho en su parte distal, tienen una epidermis con gruesas paredes exteriores, lo que le da un aspecto ceroso a la superficie (Grau et al., 2003) . El color y la forma del tubérculo varían considerablemente, Tapia y Fries (2007) indican que los tubérculos según su coloración se pueden clasificar en:

- Tubérculos de color uniforme, generalmente blanco, amarillo o anaranjado.
- Tubérculos con pigmentos de antocianina ubicados sólo en las yemas.
- Tubérculos muy coloreados en las yemas con antocianinas.
- Tubérculos con yemas pigmentadas y con franjas longitudinales rojas o moradas.

El ciclo vegetativo de esta especie varía entre 220 y 245 días, esto le permite competir ventajosamente con las malas hierbas (Hernández y León, 1992). Según, Tapia y Fries (2007) su cultivo se concentra a partir de los 1 500 hasta los 4 200 m s. n. m. y su distribución geográfica es desde Colombia hasta Bolivia.

Entre las principales características de la mashua se encuentran la elevada resistencia a las temperaturas de congelación, la facilidad de ser cultivada en suelos pobres, sin uso de fertilizantes y pesticidas, el elevado rendimiento llegando incluso a doblar la de la papa, y el efecto repelente contra nematodos y otros patógenos (Gonzales, Almanza, Oros, Devaux, 2003).

Sin embargo, la mashua se considera un tubérculo marginado y es el tubérculo menos difundido de los andes. Fano y Benavides (1992) sostienen que la mashua es un alimento de consumo estacional, es decir se consume al finalizar las cosechas, los campesinos lo integran en sus dietas en algunos casos, pero en las ciudades es menos importante conforme se incrementa los ingresos de las

familias; la dejan de consumir 45 % de las familias de bajos ingresos, 63 % de las de ingresos medios y 90 % de las de altos ingresos. La principal limitación parece ser la baja aceptación fuera del consumo familiar o local. La demanda urbana de mashua es muy inferior a la del ulluco y oca, como lo demuestra la presencia marginal de mashua en los mercados.

2.2.1. Composición química de la mashua

El contenido de agua de los tubérculos de Mashua es comparativamente alto, variando de 79 a 94 % en la materia fresca o comestible. La principal contribución nutricional de Mashua es su alto contenido de carbohidratos, particularmente de almidón, pero también de azúcares. El contenido proteico del tubérculo mashua en la materia fresca se acerca a los valores de patata, aunque las papas son mucho más altas en el contenido de materia seca. (Shah et al., 1993; Stegemann y Shah, 1993 citado por Grau et al., 2003).

Tabla 1. Composición química de la mashua.

Componente	Unidad	Rango*	Promedio
Humedad	g	79.2 - 93.8	n.a.
Proteína cruda	g	1.1 - 2.7	1.5
Grasa	g	n.a.	0.7
Fibra	g	0.5 - 1.5	0.9
Minerales (cenizas)	g	0.6 - 1.1	0.8
Azúcares totales	g	n.a.	3.5
Azúcares reductores	g	n.a.	2.9
Almidón	g	7 - 10.5	8.9
fosforo	mg	0.6 - 0.8	0.7

n.a.: no disponible.

* Datos por 100 g de porción comestible de mashua (peso fresco).

* Los rangos indican valores mínimos y máximos proporcionados por uno o varios autores, típicamente trabajando con diferentes cultivares.

Fuente: Grau et al. (2003).

2.2.2. Variedades de mashua

La variedad es la subdivisión de la especie, fundada en leves diferencias entre individuos de la misma especie (Buarque, 1975).

Los tubérculos de Mashua muestran una gama notablemente amplia de colores y los calificativos en nombres varietales a menudo se refieren a ellos. Algunos nombres de las variedades se refieren aparentemente a atributos como la forma o el sabor (Hermann y Cruz citado por Grau et al., 2003). En la tabla 2 se muestra algunas variedades de mashua.

Tabla 2. Variedades de mashua.

Nombre	Color
Quillu - mashua	Amarillo
Mashua yana-saco	Negro
Putsu-mashua	Fondo amarillo Cubierto de rayas rojas
Mashua-shira	Amarillo con puntos púrpura
Mashua-zapallo	Amarillo y rojo
Checche- añu	Gris

Fuente: Grau et al. (2003).

2.2.2.1. Mashua variedad negra

El color predominante de la superficie del tubérculo de esta variedad de mashua es purpura grisáceo, la pulpa es de color naranja amarillento, color secundario de la pulpa es purpura distribuido en la zona cortical, la forma del tubérculo es cilíndrico fusiforme con ojos profundos (Manrique et al., 2013).

2.2.2.2. Mashua variedad amarilla

La superficie del tubérculo es predominantemente amarillo intenso y el color secundario es rojo distribuido en forma de bandas irregulares, el color predominante de la pulpa es amarillo y los tubérculos tienen forma cónica con ojos profundos (Manrique et al., 2013).

2.3. Almidón

El almidón es una sustancia de reserva alimenticia predominantemente en las plantas y se presenta como complejas partículas discretas o gránulos (Fennema, 2000, p. 228).

Los gránulos de almidón se forman en los amiloplastos. Estos gránulos son simples o compuestos y consisten de capas concéntricas o excéntricas de densidad variable. Sobre la base de los experimentos de difracción de rayos X, los gránulos de almidón tienen un carácter semicristalino, que indica un alto grado de orientación de las moléculas de glucano. Alrededor del 70 % de la masa de un gránulo de almidón se considera amorfo y 30 % como cristalino. Las regiones amorfas contienen la cantidad principal de amilosa, pero también una parte considerable de la amilopectina. Las regiones cristalinas consisten principalmente en amilopectina (Chen et al., 1998).

Según Badui (2013) el almidón se encuentra en cereales, tubérculos y en algunas verduras y frutas como polisacárido de reserva energética, su concentración varía según el estado de madurez del vegetal, se encuentra en pequeños crepúsculos discretos que reciben el nombre de gránulo, en el tejido vegetal, estos ejercen una presión osmótica muy baja con lo que la planta almacena grandes cantidades de glucosa de una manera muy accesible sin romper el balance de agua interior. El tamaño y la forma del granulo son característicos de cada especie botánica. En un mismo cereal se distinguen varios tipos de gránulos; en general los que se encuentran en la zona más exterior del endospermo son poliédricos, mientras que los del interior son redondos (p. 94 – 98).

Por otra parte, Fennema (2000) afirma que el almidón proporciona el 70 – 80 % de las calorías consumidas por los humanos de todo el mundo. Tanto el almidón como los productos del hidrolisis del almidón constituyen la mayor parte de los carbohidratos digeribles de la dieta habitual (p. 228).

2.3.1. Características químicas del almidón

Desde el punto de vista químico, el almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina.

Estos polisacáridos se presentan juntos en los gránulos, la proporción relativa de amilosa y amilopectina varía de un almidón a otro. En general, los almidones contienen más amilopectina que amilosa, la mayor parte de los almidones contienen entre 26 y 29 %. La relación entre amilosa y amilopectina está gobernada por factores genéticos, y puede ser influida por técnicas de reproducción de vegetales. El granulo de almidón consiste generalmente en varias capas, colocadas alrededor de una región central llamada núcleo. Sorprendentemente, se sabe poco de la disposición de las moléculas de amilosa

y amilopectina dentro del granulo del almidón. Al microscopio de polarización se observa el clásico esquema de la “cruz de malta”, característico de los materiales birrefringentes (Coultrate, 1998).

Según, Biliaderis (1991) el almidón debe mucho a su funcionalidad (por ejemplo, como un agente espesante, sabor carrier y aglutinante en aplicaciones relacionadas con la alimentación) a los dos principales componentes carbohidratos de peso molecular derecho, amilosa y amilopectina, así como a la organización física de estas macromoléculas en la estructura granular.

2.3.1.1. Amilosa

Es la condensación de glucosas por enlaces glucosídicos α (1, 4), que establece largas cadenas lineales con 200 - 2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón y tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (Badui, 2013, p. 94 - 96). El interior de la hélice contiene solo átomos de hidrogeno, y es por tanto lipofílico, mientras que los grupos hidroxilo están situados en el exterior de la hélice (Fennema, 200, p. 229). El tamaño molecular de la amilosa es variable, el grado de polimerización en almidón de trigo es entre 500 y 6000, mientras que en papas puede hasta 4500 (Belitz, Grosch y Schieberle, 2009).

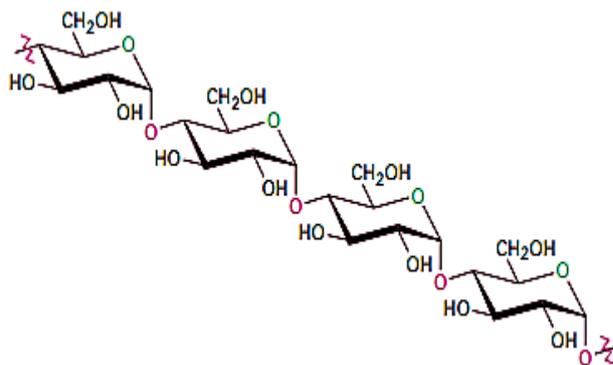


Figura 1. Estructura molecular de la amilosa.

Fuente: Mcmurry (2008).

El yodo reacciona con la amilosa y genera un fuerte color azul característico debido al complejo que se establece entre las moléculas de este con cada 7 – 8 glucosas; como para desarrollar perfectamente la coloración se requiere de 40 residuos de monosacárido, las cadenas muy cortas de amilosa, en lugar de azul, producen un color rojo (Badui, 2013, p. 95 - 96). La amilosa puede separarse de

las diluciones de almidón, porque es mucho menos soluble en los disolventes orgánicos como el butanol (Coulter, 1998).

Los almidones con alto contenidos de amilosa, producen geles más firmes y claros, así como, mayores propiedades de retrogradación y formación de películas (Espinosa, 2008). El contenido de amilosa varía según el almidón tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Contenido de amilosa de algunos almidones.

Fuente	Almidón (%)	Amilosa (%)
Amaranto	48 – 69	0 - 22
Arroz	70 – 80	8 - 37
Avena	40 – 56	25 - 29
Cebada	52 – 62	38 - 44
Maíz	65 – 75	24 - 26
Papa	17 – 24	20 - 23
Trigo	59 – 72	24 - 29

Fuente: Belitz et al. (2009).

2.3.1.2. Amilopectina

La amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en 94 – 96 % por enlaces α (1, 4) y en un 4 – 65 % con uniones α (1, 6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15 - 25 unidades de glucosa (Guan y Hanna, 2004).

La amilopectina es una molécula muy grande y altamente ramificada, con enlaces de ramificación que constituyen alrededor del 4 – 5 % del total de enlaces. Las ramas de las moléculas de amilopectina toman la forma de un racimo y se presentan como doble hélice. La amilopectina está presente en todos los almidones, constituyendo alrededor del 75 % de los almidones más comunes. Algunos almidones están formados exclusivamente por amilopectina, y se les conoce como almidones céreos. El maíz céreo, primer grano reconocido como tal en el que el almidón está formado solo por amilopectina, se llama así porque

cuando se corta el grano la superficie que aparece es de aspecto vítreo o céreo (Fennema, 2000, p. 229).

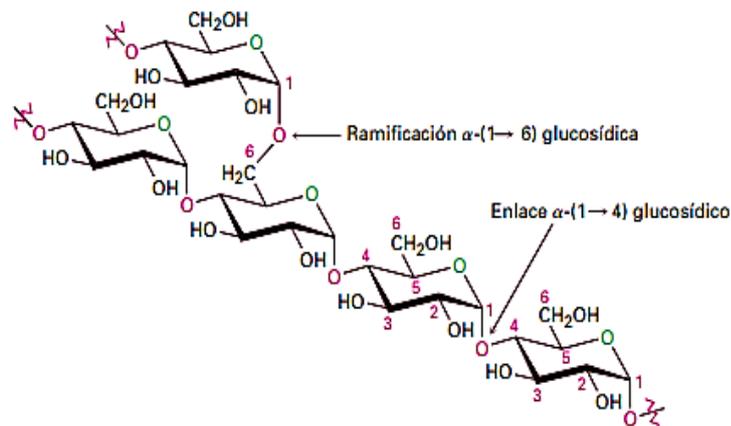


Figura 2. Estructura molecular de la amilopectina.

Fuente: McMurry (2008).

La amilopectina cuando se calienta en agua, forma una solución transparente, altamente viscosa, pegajosa y cohesiva. A diferencia de la amilosa, no hay tendencia a la retrogradación. No hay fenómenos de envejecimiento ni gelificación, excepto en concentraciones muy elevadas (Belitz, et al., 2009).

Según, Badui (2013) algunos cereales como el maíz, el sorgo y el arroz, tienen variedades llamadas "céreas" que están constituidas únicamente por amilopectina, hay otras que tienen hasta 90 % de amilosa. La concentración de estos dos polímeros está regida por factores genéticos (p. 94 – 95).

2.3.2. Propiedades funcionales del almidón

En términos generales, las propiedades funcionales se definen como "cualquier propiedad fisicoquímica de los polímeros que afecta y modifica algunas características de los alimentos y contribuye a la calidad final del producto" (Badui, 2013, p. 180).

Las propiedades funcionales de los almidones son: capacidad de retención de agua, poder de hinchamiento, solubilidad, tendencia a retrogradar y propiedades de la pasta (viscosidad, consistencia, estabilidad del gel, claridad y resistencia al corte, formación de película). Las propiedades funcionales de los almidones dependen directamente de la relación amilosa/amilopectina (Aristizábal y Sánchez, 2007). En ciertos casos cuando una de estas fracciones (amilosa/amilopectina) está en exceso puede traer consigo algunos

inconvenientes; esto se observa en el arroz cocido cuya calidad mejora cuando se reduce el contenido de amilosa, pues resulta menos pegajoso (Badui, 2013, p. 96). Por ello, para apreciar el potencial del uso industrial y alimenticio de un almidón es fundamental comprender las propiedades funcionales del almidón.

2.3.2.1. Hidratación y gelatinización del almidón

Los gránulos de almidón no dañados son insolubles en agua fría, pero pueden embeber agua de manera reversible; es decir, pueden hincharse ligeramente con el agua y volver luego al tamaño original al secarse (Fennema, 2000, p. 233).

El hinchamiento de los gránulos de almidón es reversible hasta cierta temperatura conocida como temperatura de gelatinización, la cual caracteriza a cada tipo de almidón (Debet y Gidley, 2006). La gelatinización es el proceso por el cual los gránulos de almidón absorben agua y cuando se administra calor, el granulo hinchado incapacitado para retener el líquido se rompe parcialmente donde la amilosa y la amilopectina fuentes hidratadas se dispersan en el seno de la disolución. Se da el nombre de temperatura de gelatinización a aquella en la cual se alcanza el máximo de viscosidad y se pierde la birreflectancia y el patrón de difracción de rayos X (Badui, 2013, p. 97).

Tabla 4. Temperatura de gelatinización y gel de algunos almidones.

Almidón	Temperatura de gelatinización (°C)	Propiedades del gel
Maíz	62 - 72	Gel opaco
Yuca	62 - 73	Claro cohesivo
Papa	58 - 64	Claro cohesivo
Trigo	59 - 64	Gel opaco
Arroz	68 - 78	Gel opaco

Fuente: Taggart (2004) citada por Aristizábal y Sánchez (2007).

La temperatura de gelatinización depende de varios aspectos como es el porcentaje de amilosa, la forma del granulo y el tamaño, por lo que cada almidón tiene un intervalo de gelatinización diferente (Sánchez, 2007). Chen et al. (1998) señala que las longitudes de la cadena de ramificación de la amilopectina y sus distribuciones juegan un papel importante en la temperatura de gelatinización del almidón. un almidón que contiene longitudes de cadena de ramificación más

largas muestra una temperatura de gelatinización más alta. Cuando las estructuras de amilopectina de dos almidones son similares, se sabe que el aumento del contenido de amilosa disminuye ligeramente la temperatura de gelatinización. Esto se puede atribuir a que la amilosa se intercala entre las moléculas de amilopectina e interrumpe la estructura cristalina de los gránulos de almidón.

2.3.2.2. Índice de absorción en agua

Cuando se calienta el almidón empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de hidrogeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el granulo empieza a hincharse y aumenta de volumen (Badui, 2013, p. 97).

En agua caliente, la absorción de agua está determinada por las fuerzas de unión en la estructura del granulo de almidón, es decir, dependen del grado de asociación molecular entre la amilosa y amilopectina y de la temperatura de gelatinización a la que este expuesto el granulo de almidón. El índice de absorción de agua está relacionado con la fuente biológicas, el tamaño y la forma del granulo (Lindeboom, Chang y Tyler, 2004).

Según Hwang y Kokini (1992), la absorción de agua depende del tamaño y la forma del gránulo, cuanto menor sea el tamaño del gránulo existirá mayor capacidad de absorción de agua.

2.3.2.3. Índice de solubilidad en agua

La solubilidad es la máxima cantidad de soluto que se disolverá en una cantidad de disolvente a una temperatura específica (Chang y College, 2002).

La relación de amilosa/amilopectina es el que determina la solubilidad, ya que según Conde et al. (2001) citado por Alcázar y Meireles (2015) la amilosa es el principal componente que se lixivia al espacio intergranular, el almidón con mayor contenido de amilosa es el más soluble.

Según Arzapalo et al. (2015), la solubilidad del almidón está relacionado con las fuerzas o enlaces de unión de la amilosa y amilopectina dentro del almidón, gránulos con enlaces fuertes de unión tienen bajo índice de solubilidad.

2.3.3. Poder de hinchamiento

El poder de hinchamiento es una medida de la capacidad del almidón para hidratarse bajo condiciones específicas tales como: temperatura y disponibilidad de agua (Hoover, Sailaja y Sosulki, 1996).

El poder de hinchamiento del almidón se ve afectada por las fuerzas de enlaces presentes en el interior del gránulo, por lo tanto, gránulos de almidón altamente asociados con una estructura micelar extensa y fuertemente enlazada generalmente muestran una gran resistencia al hinchamiento. Aunado a esto, la presencia de lípidos puede inhibir el hinchamiento de los gránulos, debido a la formación de complejos insolubles con la fracción de amilosa (Tester y Morrison, 1990).

El poder de hinchamiento y la solubilidad se correlacionan y presentan un comportamiento similar porque dependen de la proporción y el arreglo de las moléculas de amilosa y amilopectina, el peso molecular de las débiles, la distribución del peso molecular, el grado de ramificación y la conformación y extensión de las cadenas externas de la amilopectina (Moreira, 2007).

2.3.3.1. Propiedades de pasta

Cuando los gránulos de almidón son calentados en un exceso de agua, ocurre el hinchamiento, la lixiviación de componentes solubles (amilosa principalmente) y si se aplica fuerza de cizalla ocurre la disrupción total de los gránulos. El hinchamiento de los gránulos y la disrupción da lugar a una masa viscosa (la pasta) que consiste en una fase continua de amilosa y/o amilopectina solubilizadas en una fase discontinua de restos de los gránulos (Fennema, 2000, p. 233 - 234). El proceso de absorción de agua y aumento de volumen va acompañado de un fuerte ascenso de la viscosidad hasta llegar a un máximo llamado pico de viscosidad (Howling, 1980 citado por Aristizábal y Sánchez, 2007). Una vez que los gránulos de almidón se rompen, la viscosidad se reduce hasta alcanzar un valor estable en el que se genera un gel cuyas características físicas y químicas son diferentes en cada almidón (Fennema, 2000, p. 234 - 235).

Según, Hwang y Kokini (1992) la viscosidad depende del tamaño y la forma del gránulo, el cual incide en la estabilidad de la viscosidad, cuanto menor sea el tamaño del granulo existirá mayor capacidad de absorción de agua y por tanto alta viscosidad. La viscosidad de la pasta es en gran medida la característica más

importante de los almidones, pues determina a qué tipo de productos se puede aplicar.

Hay muchos equipos con las cuales se puede analizar las propiedades de la pasta y una de ellas es el Analizador de Viscosidad Rápida (RVA).

El RVA es un viscosímetro rotacional que mide la viscosidad en continuo de una muestra bajo condiciones controladas de estrés térmico y fuerza de corte. La capacidad del instrumento de suspender la muestra en un solvente, mantenerlo en suspensión durante el análisis y aplicar la correcta velocidad de mezclado permiten replicar las condiciones reales del proceso (Perten Instruments, 2015).

En el RVA la muestra de almidón es sometida a un ciclo térmico: Primero se calienta la muestra a una temperatura máxima, luego permanece a esa temperatura por un tiempo y después comienza a enfriarse hasta una temperatura mínima donde permanece por un tiempo (Collado, Mabesa y Corke, 1999 citado por Troncoso, 2011).

Durante la fase inicial de calentamiento de una suspensión acuosa de almidón, se registra un aumento en la viscosidad cuando los gránulos empiezan a hincharse. En este punto polímeros con bajo peso molecular, particularmente las moléculas de amilosa, comienzan a ser lixiviadas de los gránulos. Un pico de viscosidad se obtiene durante el empastamiento, cuando la mayoría de los gránulos están totalmente hinchados, gránulos intactos y la alineación molecular de cualquier polímero solubilizado aún no ocurrió dentro del campo de fricción del instrumento (BeMILLER, 1997 citado por Goncalves, 2003). En la fase de temperatura constante los gránulos empiezan a romperse y la solubilización de los polímeros continúa. En este punto ocurre una caída en la viscosidad conocida como breakdown. En la fase de enfriamiento, los polímeros de amilosa y amilopectina solubilizados comienzan a reasociarse y otro aumento en la viscosidad se registra. Este segundo aumento de la viscosidad es conocido como tendencia a retrogradación o setback (Goncalves, 2003).

La inestabilidad del gel (Breakdown) es un indicativo de qué tan estable y resistente al cizallamiento es el gel en procesos agroindustriales, representa la fragmentación de los gránulos, entre más bajo sea el valor mucho más estable es el gel a la fragmentación mecánica. El Setback define la reasociación de los polímeros del almidón solubles y los fragmentos granulares insolubles durante la fase de enfriamiento, se asocia a la retrogradación; entre más alto el valor, los

almidones son más susceptibles de sufrir retrogradación (Álzate, Quintero y Lucas, 2013).

Los parámetros determinados para analizar las propiedades de pasta según Sandu y Singh (2017) citado por Valcárcel (2010) son:

- a) **Pico de viscosidad o viscosidad máxima:** es el valor máximo de viscosidad alcanzado por la curva viscoamilografica.
- b) **Resistencia o viscosidad mínima:** corresponde a la viscosidad mínima registrada después de la fase de temperatura constante.
- c) **Inestabilidad del gel o breakdown:** medición de la etapa de cocido o desintegración del almidón. Es la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad mínima.
- d) **Viscosidad final:** indica la capacidad del almidón para formar una pasta viscosa. Es el valor de viscosidad máxima que se registra al final la curva viscoamilografica.
- e) **Tendencia retrogradación o setback:** Corresponde a la diferencia entre la viscosidad mínima y la viscosidad final.

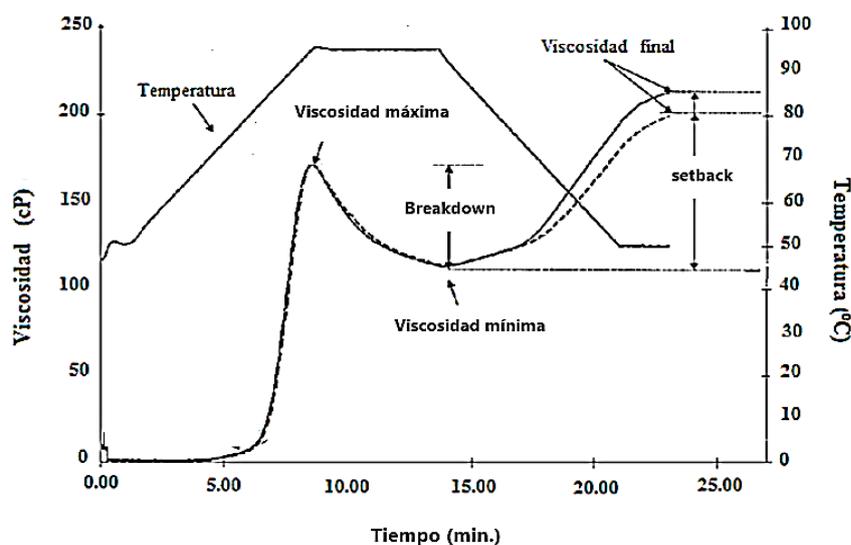


Figura 3. Perfil de viscosidad de pasta de almidón obtenido en el RVA.
Fuente: Yamin (1999) adaptado por Valcárcel (2010).

2.3.4. Usos del almidón

2.3.4.1. Usos en productos alimentarios

En la industria de alimentos el almidón, tanto nativo como modificado, tiene un papel importante en la textura de varios preparados al aportar palatabilidad y aceptabilidad (Aristizábal y Sánchez, 2007).

- Como dador de cuerpo, imparte textura y estabilidad a caramelos
- Como agente para espolvorear, combinado con azúcar pulverizada en gomas, caramelos y gomas de mascar.
- Como protector contra la humedad, de diversos productos en polvo como azúcares, pues los almidones absorben humedad.
- Como espesante, da cuerpo y textura al alimento preparado; para sopas, alimentos para infantes, salsas, gelatinas sintéticas.
- Como agente coloidal, imparte textura, sabor y apariencia. La cocción del almidón produce una solución coloidal estable, compatible con otros ingredientes en productos alimenticios.
- Como aglutinante, para el ligamento de componentes. En la preparación de salchichas y embutidos cocidos.
- Como emulsificante, produce una emulsión estable en la preparación de mayonesas y salsas similares.
- Como estabilizador, por su elevada capacidad de retención de agua es usado en productos mantecados-helados.
- En la mezcla con harinas para bajar el contenido de proteínas y la fuerza del gluten en panaderías. En la fabricación de galletas para aumentar su propiedad de extenderse y crujiir, además de ablandar la textura, aumentar el sabor y evitar que se pegue.

2.3.4.2. Industria farmacéutica y cosmética

El almidón y algunos almidones modificados son ampliamente usados en la fabricación de píldoras o tabletas, en las cuales cumplen dos funciones: como agente de dispersión de polvo y como ligante del ingrediente activo de la tableta. Cuando esta es ingerida, el almidón absorbe rápidamente la humedad y se hincha causando un estrés interno al interior de la tableta el cual se desintegra y libera el ingrediente activo.

En la industria cosmética, se emplea en la fabricación de polvos faciales finos, polvos compactos y polvos nutritivos. También actúa como absorbente, mejorador de viscosidad y como vehículo para sustancias pastosas, líquidas o semisólidas en la elaboración de cremas y lociones de uso dermatológico (Balagopalan, Padmaja, Nanda y Moorthy, 1988 citado por Aristizábal y Sánchez, 2007).

CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se realizó en las instalaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA), ubicado en la Unidad Vecinal de Santa Rosa, Distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas de la Región de Apurímac y en el laboratorio de Procesos Industriales de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), ubicado en la ciudad de Lima, Perú.

3.2. Material de estudio

Fueron los almidones de mashua de las variedades amarilla y negra.

Los tubérculos de mashua fueron obtenidos directamente de los productores de la Comunidad de Huancabamba, en el mes de julio del 2017, mes en el cual los tubérculos se encontraban completamente maduros. La comunidad de Huancabamba está ubicada al sur de la ciudad de Andahuaylas a una altitud de 3600 m s. n. m., Distrito de José María Arguedas, Provincia de Andahuaylas, Región Apurímac.

3.2.1. Universo y/o población

El universo y/o población es toda la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) de las variedades amarilla y negra cultivadas en la Comunidad de Huancabamba, Distrito José María Arguedas, provincia de Andahuaylas, región Apurímac.

3.2.2. Muestra

La muestra fue 15 kg por cada variedad de mashua.

La muestra se obtuvo por la técnica de muestreo al azar, esto consistió en seleccionar los tubérculos con las siguientes características: completamente maduros, máxima coloración amarilla y negra según la variedad, libre de daños mecánicos y buen tamaño; una vez obtenido los tubérculos con estas características las muestras fueron tomadas al azar.

3.3. Equipos, materiales, reactivos e insumos de laboratorio

3.3.1. Equipos e instrumentos

- Analizador rápido de viscosidad (RVA), THERMO FISHER SCIENTIFIC con software versión HAAKE RHEOWIN 4.50.0003.
- Estufa de secado.
- Balanza analítica de precisión de 0.0001, ABS 200-4.
- Balanza analítica de precisión de 0.01 g, ABS 200-4.
- Espectrofotómetro UV-Visible, GENESYS, exactitud de +/-2 nm.
- Baño María.
- Centrifuga, LW SCIENTIFIC ULTRA 8V.
- Licuadora, OSTER.
- Termómetro digital con escala de 0 a 100 °C.

3.3.2. Materiales

- Malla de tela con abertura de 75 micras.
- 32 fioles de 100 mL, FORTUNA.
- 10 pipetas de 10 mL, FORTUNA.
- 8 pipetas de 5 mL, FORTUNA.
- 2 pipetas de 2 mL, FORTUNA.
- 2 pipetas de 1 mL, FORTUNA.
- 10 frascos volumétricos de 50 mL.
- 4 vasos precipitados de 100 mL, FORTUNA.
- 2 vasos precipitados de 250 mL, FORTUNA.
- 6 vasos precipitados de 50 mL, FORTUNA.
- 6 tubos de centrifuga de 10 mL.

3.3.3. Reactivos

- Etanol al 95 %.
- Amilosa de papa purificada.
- Amilopectina de papa purificada.
- Hidróxido de sodio 1 N.
- Hidróxido de sodio 0.09 N.
- Ácido acético 1 N.
- Solución stock de yodo al 2 %.

3.4. Metodología experimental

3.4.1. Extracción del almidón

La extracción del almidón se realizó según la metodología descrita por Montaldo (1984) mencionada por Torres, Montero y Duran (2013) modificado para esta investigación, la cual se observa en la Figura 4.

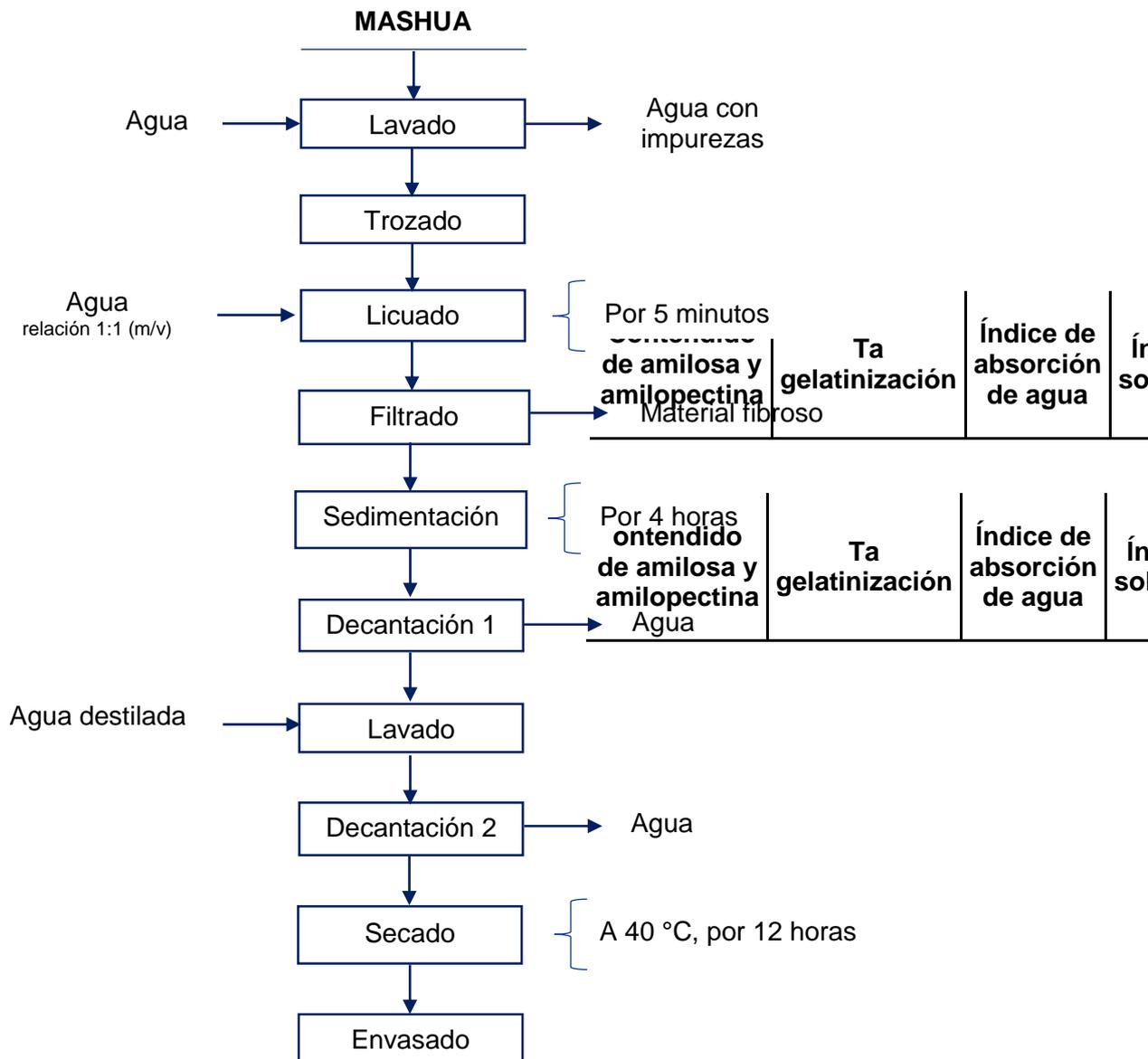


Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de extracción del almidón de mashua.

Descripción del proceso de obtención del almidón

- a) Lavado: la mashua fue lavado con abundante agua potable para eliminar la tierra y las impurezas.
- b) Trozado: la mashua se cortó con un cuchillo de cocina en pequeñas rodajas (1 cm) para facilitar el licuado.
- c) Licuado: esta operación se realizó con la finalidad de liberar los gránulos de almidón, se licuó en una licuadora doméstica (por 5 minutos) con agua potable en una relación de 1:1 (m/v).
- d) Filtrado: la lechada de almidón se filtró en una malla de tela de un metro cuadrado con abertura de 80 μ para eliminar el material fibroso.
- e) Sedimentación: se dejó sedimentar por 4 horas para poder separar el agua del almidón.
- f) Decantación 1: transcurrido este tiempo el sobrenadante fue eliminado por decantación.
- g) Lavado: el almidón se lavó con abundante agua destilada para eliminar la pigmentación que presentan.
- h) Decantación 2: se dejó sedimentar por 4 horas, para luego eliminar el sobrenadante nuevamente por decantación.
- i) Secado: se realizó en una estufa con aire corriente a 40 °C por 12 horas.
- j) Envasado: el almidón se envasó en bolsas de polietileno con la finalidad de guardar para su posterior análisis.

Los resultados de rendimiento de almidón se muestran en el Anexo 1.

3.4.2. Determinación de las características químicas

3.4.2.1. Amilosa y amilopectina

Se realizó según el método descrito en ISO (1987) las determinaciones se realizaron espectrofotométricamente con el porcentaje de absorbancia utilizando los siguientes reactivos:

- Etanol al 95 % (v/v)
- Amilosa de papa purificada
- Amilopectina de papa purificada
- Hidróxido de sodio 1 N: 4 g de hidróxido de sodio (NaOH) en agua destilada y completada a 100 mL.

- Hidróxido de sodio 0.09 N: 9 mL de NaOH 1 N y completada a 100 mL con agua destilada.
- Ácido acético 1 N: 5.72 mL de ácido acético y completada a 100 mL con agua destilada.
- Solución stock de yodo al 2 %: 2 g de yoduro de potasio (KI) en un poco de agua destilada y 0.2 g de yodo (I₂), disuelto y completado a 100 mL con agua destilada.

Procedimiento:

- a) Preparación de las suspensiones estándar de amilosa y amilopectina: la suspensión estándar de amilosa se preparó tomando 100 mg de amilosa purificada y se adicionó cuidadosamente 1 mL de etanol 95 %. Luego se añadió 9 mL de NaOH 1 N y se procedió a mezclar. La solución se calentó a 60 °C en baño maría durante 10 minutos, se tapó y se dejó a temperatura ambiente por 24 horas y, finalmente, se aforó el sistema con agua destilada hasta 100 mL. La suspensión estándar de amilopectina se preparó de igual manera que con la amilosa.
- b) Preparación de la curva de calibración: las soluciones patrón se prepararon mezclando volúmenes de las suspensiones estándar de amilosa y amilopectina, y de solución NaOH 0.09 N de acuerdo con la Tabla 5.

Tabla 5. Soluciones estándar para la curva de calibración.

FMA (%)	Amilosa (mL)	Amilopectina (mL)	NaOH 0.09 N (mL)
0	0	18	2
10	2	16	2
20	4	14	2
25	5	13	2
30	6	12	2
35	7	11	2

*FMA: fracción másica amilosa en base seca.

Se tomó una alícuota de 5 mL de cada estándar en una serie de fioles de 100 mL, cada uno con aproximadamente 50 mL de agua. Se añadió 1 mL de ácido acético 1 N y se mezcló el sistema. A continuación, se adicionó 2 mL de

solución de yodo al 2 %, se completó el volumen con agua destilada y se mezcló. Se dejó reposar durante 10 minutos.

El blanco se preparó en una fiola de 100 mL que contenía 50 mL de agua destilada, se agregó 5 mL de NaOH 0.09 N, luego se añadió 1 mL de ácido acético 1 N y 2 mL de solución de yodo al 2 % y se aforó. Finalmente, se procedió a medir la absorbancia a 620 nm frente a la solución del blanco utilizando un espectrofotómetro UV – Visible.

- c) Preparación de la muestra de almidón de mashua y determinación del contenido amilosa y amilopectina: se pesó 100 mg de la muestra de almidón de mashua. En una fiola de 100 mL se adicionó 1 mL de etanol 95 % y 9 mL de NaOH 1 N; y se mezcló el sistema. A continuación, se calentó la mezcla a 50 °C en un baño maría durante 10 minutos para dispersar el almidón. Se dejó enfriar a temperatura ambiente bajo oscuridad durante 20 minutos. Se enrasó el volumen con agua destilada y se mezcló. A continuación, en otra fiola de 100 mL que contenía 50 ml de agua destilada se añadió 5 ml de la muestra gelatinizada, se le adicionó 1 ml de ácido acético 1 N y 2 mL de yodo al 2 %, se mezcló, se aforó y se dejó en la oscuridad a temperatura ambiente durante 10 minutos.
- d) Medición: Se midió la absorbancia de la muestra problema a 620 nm frente a la solución del blanco.
- e) Posteriormente se determinó el contenido de amilosa mediante la siguiente ecuación de la recta de la curva estándar (Anexo 1) para la determinación de amilosa:

$$Y = 0.015X + 0.003 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

X: valor de absorbancia.

Y: % de amilosa.

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

$$\% \text{ de amilopectina} = 100 - \% \text{ de amilosa} \quad \text{Ec. 2}$$

3.4.3. Determinación de las propiedades funcionales

3.4.3.1. Temperatura de gelatinización

Se realizó según la metodología descrita por Grace (1977) citado por Aristizábal y Sánchez (2007) con algunas modificaciones.

Procedimiento:

- a) Pesado: se pesó 3 g de almidón y se disolvió en agua destilada completando a 50 mL en un vaso precipitado de 100 mL.
- b) Calentamiento de agua: se calentó agua hasta 70 °C en un baño maría.
- c) Introducción de la muestra: se tomó el vaso precipitado con la suspensión de almidón y se introdujo al baño maría que contiene agua a 70 °C.
- d) Agitación: la suspensión de almidón se agitó con una bagueta constantemente hasta que se formó una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos y se dio lectura a la temperatura de gelatinización.

3.4.3.2. Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento

Se determinó según el método descrito por Anderson, Conway, Pheiser y Griffin (1969) con algunas modificaciones.

Procedimiento:

- a) Pesado de almidón: se pesó 0.1 g de almidón y en un tubo de centrifuga se agregó 10 mL de agua destilada y se procedió a agitar.
- b) Calentamiento: los tubos con las muestras se calentaron en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos, se agitó la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento.
- c) Centrifugación: se centrifugó a temperatura ambiente a una velocidad de 3300 RPM durante 30 minutos.
- d) Decantación: se separó el sobrenadante (almidón soluble) y se midió el volumen (V). luego, se pesó el tubo de centrifuga con el gel (peso del gel).
- e) Secado del sobrenadante: se tomó 3 mL del sobrenadante y en una placa petri previamente pesado se procedió a secar en una estufa durante 12 horas a 70 °C y luego se pesó (peso soluble).
- f) Calculo: los cálculos se realizaron con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Indice de absorcion de agua} = \frac{\text{peso del gel(g)}}{\text{peso de muestra (g) bs}} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\text{Indice de solubilidad en agua} = \frac{\text{peso soluble(g)} * V}{\text{peso de muestra (g) bs} * 2} \quad \text{Ec. 4}$$

$$\text{Poder de hinchamiento} = \frac{\text{peso del gel(g)}}{\text{peso de muestra (g) bs} - \text{peso soluble total (g)}} \quad \text{Ec. 5}$$

3.4.3.3. Determinación de las propiedades de la pasta

Las propiedades de la pasta de los almidones fueron determinadas utilizando un analizador rápido de viscosidad (RVA) del laboratorio de Procesos Industriales de la Pontificia Universidad Católica del Perú, según el método descrito por Dufour et al. (2009) citado por Álzate, Quintero y Lucas (2013).

Procedimiento:

- a) Pesado y disolución: se preparó una disolución de almidón con una concentración de 7 %.
- b) Calentamiento: se inició el calentamiento desde 50 °C hasta 92 °C a una velocidad de 6 °C/minuto, se mantuvo la temperatura a 90 °C durante 5 minutos.
- c) Enfriamiento: se enfrió hasta 50 °C con una velocidad de 6 °C/min y luego se mantuvo la temperatura a 50 °C durante 5 minutos.

Los valores que se determinaron mediante el analizador rápido de viscosidad son:

- Viscosidad máxima.
- Viscosidad mínima.
- Viscosidad final.
- Breakdown o inestabilidad del gel.
- Setback o recuperación.

3.4.4. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental de la presente investigación fue un Diseño Completamente al Azar (DCA).

El DCA es utilizado para comparar dos o más tratamientos. Este diseño es aplicado cuando las unidades experimentales son muy homogéneas, es decir, la mayoría de los factores actúan por igual entre las unidades experimentales. La homogeneidad de las unidades experimentales puede lograrse ejerciendo un control local apropiado (seleccionando, por ejemplo, sujetos, animales y plantas de una misma edad, raza, variedad o especie) (Castejón, 2011). En el caso de experimentar con un solo factor, cada nivel es un tratamiento (Gutiérrez y Vara, 2008).

Tabla 6. Matriz de diseño experimental.

Ttos.	Almidón de mashua	Características químicas	Propiedades funcionales				
			Contenido de amilosa y amilopectina	Temperatura de gelatinización	Índice de absorción de agua	Índice de solubilidad	Poder de hinchamiento
1	Variedad amarilla						
2	Variedad negra						

*Ttos : Tratamientos.

La presente investigación se trabajó con dos variedades de mashua (variables independientes), de las cuales se extrajo el almidón, a los cuales se determinó las características químicas y propiedades funcionales (variables dependientes).

Modelo estadístico del diseño completamente al azar

El DCA sólo consideran dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio (Gutiérrez y Vara, 2008). El modelo estadístico para el diseño completamente al azar se muestra de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

Y_{ij} : Resultado de la determinación de las características fisicoquímicas y funcionales del almidón de mashua de las variedades amarilla y negra.

τ_j : Replica de los tratamientos.

ϵ_{ij} : Error aleatorio que se da en las réplicas.

μ : Promedio de las medias de cada variable.

Análisis de varianza para el diseño completamente al azar

Los datos obtenidos (variables dependientes) fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), el cual es la técnica central en el análisis de datos experimentales.

Tabla 7. Tabla ANOVA para el diseño completamente al azar.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0	Valor- p
Tratamientos	$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^K \frac{Y^2_{i.}}{n_i} - \frac{Y^2_{..}}{N}$	$K-1$	$CM_{TRAT} = \frac{CS_{TRAT}}{K-1}$	$\frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	$SC_E = SC_E - SC_{TRAT}$	$N-K$	$CM_E = \frac{SC_E}{N-K}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} Y^2_{ij} - \frac{Y^2_{..}}{N}$	$N-1$			

Fuente: Gutiérrez y Vara (2008).

Hipótesis para el diseño completamente al azar

El objetivo del análisis de varianza (ANOVA) en un diseño completamente al azar (DCA) es probar la hipótesis de igualdad de los tratamientos con respecto a la media de la correspondiente variable de respuesta.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_k$$

Para la presente investigación se planteó las siguientes hipótesis:

- H_0 : No existe diferencia en las características químicas y propiedades funcionales entre el almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) de la variedad amarilla y negra.
- H_A : Existe diferencia en las características químicas y propiedades funcionales entre el almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) de la variedad amarilla y negra.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características químicas

4.1.1. Amilosa y amilopectina

Los contenidos de amilosa y amilopectina de los almidones de mashua variedad amarilla y negra, fueron determinados mediante el método espectrofotométrico. Los resultados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Contenido de amilosa y amilopectina.

Tratamientos	Amilosa (%)	Amilopectina(%)
Negra	24.16 ± 0.21	75.84±0.21
Amarilla	23.58 ± 0.04	76.42±0.04

*Media ± Desviación Estándar

Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de amilosa.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F ₀	Valor-P
Variedades	0.5046	1	0.5046	21.35	0.0099
Error	0.094533	4	0.023633		
Total	0.599133	5			

Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) del contenido de amilopectina.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F ₀	Valor-P
Variedades	0.5046	1	0.5046	21.35	0.0099
Error	0.094533	4	0.023633		
Total	0.599133	5			

En el análisis de varianza (Tabla 9 y 10) se observa que existe diferencia estadísticamente significativa en el contenido de amilosa y amilopectina de los almidones de mashua amarilla y negra con un 95 % de nivel de confianza, debido a que el valor- $P < 0.05$. Por tanto, se rechaza las hipótesis nulas y aceptamos las hipótesis alternas. Éstas diferencias en el contenido de amilosa y amilopectina, según Badui (2013) se debe a la fuente biológica de donde provienen los

almidones, ya que la concentración de amilosa/amilopectina está regida por factores genéticos.

El almidón de mashua variedad negra presentó una media de 24.16 % de amilosa, superior al almidón de mashua variedad amarilla (23.58 %) (mashua cultivadas a 3600 m s. n. m., en Huancabamba - Andahuaylas); los cuales son inferiores que los reportados por Grados y Gutiérrez (2013), quienes encontraron valores de 30.067 % de amilosa para el almidón de mashua amarilla cultivado en Ichocán - Cajamarca (2596 m s. n. m.), 31.667 % para el almidón de mashua amarilla cultivado en Otuzco - La Libertad (2635 m s. n. m.) y Valcárcel (2010), 27.44 % para almidón de mashua amarilla adquirida en el mercado local de la ciudad de Arequipa. Estas diferencias según Noda et al. (2001) se deben a las condiciones climáticas y el tipo de suelo donde fueron cultivadas.

Haciendo una comparación, el contenido de amilosa del almidón de mashua variedad amarilla y negra es menor frente a la amilosa del almidón de papa (rango de 32.687 – 40.267 %) (Díaz, 2015), yuca (30.68%) (García et al., 2013) y maíz (42.58 %) (Ojeda, 2080). Por tanto, los almidones estudiados son de bajo contenido de amilosa y alto de amilopectina. Por ello posiblemente tengan baja tendencia a retrogradar, ya que según Belitz et al. (2009) almidones que tengan estas características, al calentarse forman un gel altamente viscoso y con baja tendencia a retrogradar.

4.2. Propiedades funcionales

4.2.1. Temperatura de gelatinización

Tabla 11. Temperatura de gelatinización.

Tratamientos	Temperatura de gelatinización (°C)
Amarilla	63.40 ± 0.46
Negra	59.57 ± 0.60

*Media ± Desviación Estándar

El almidón de mashua variedad amarilla presentó una media de 63.4 °C, superior al almidón de mashua variedad negra (59.57 °C); los cuales son similares que lo reportado por Valcárcel (2010), quien muestra un rango de 51.85 - 65.22 °C para almidón de mashua amarilla.

Tabla 12. Análisis de varianza (ANOVA) de la temperatura de gelatinización.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F₀	Valor-P
Variedades	22.0417	1	22.0417	76.89	0.0009
Error	1.14667	4	0.286667		
Total	23.1883	5			

En el análisis de varianza (Tabla 12) se observa que existe diferencia estadísticamente significativa en la temperatura de gelatinización de los almidones de mashua amarilla y negra con un 95 % de nivel de confianza, debido a que el valor- $P < 0.05$. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna. Ésta diferencia se atribuye al contenido de amilosa/amilopectina; ya que según Lindeboom et al. (2004) la amilosa influye en la temperatura de gelatinización y es inversamente proporcional, a mayor contenido de amilosa menor temperatura de gelatinización. Según Sasaki, Fang, Fukushima, Adschiri y Arai (2000) citado por Alcázar y Meireles (2015) la presencia de amilosa reduce el punto de fusión en la región cristalina y la cantidad de energía necesaria para iniciar la gelatinización. El proceso de gelatinización comienza en el hilio y se propaga rápidamente a lo largo de la periferia. La gelatinización ocurre inicialmente en la región amorfa, favorecida por los enlaces de hidrógeno débiles presente en esta área.

La temperatura de gelatinización de los almidones estudiados es menor que el almidón de quinua (rango de 66 – 69 °C) (Arzapalo et al., 2015), maíz (70 °C) (Ojeda, 2008) y plátano (rango de 70 – 80 °C) (Véliz, 2011). Por tanto, los almidones estudiados son de fácil cocción.

4.2.2. Índice de absorción de agua

Tabla 13. Índice de absorción de agua.

Tratamientos	Índice de absorción de agua (g gel/g muestra)
Amarilla	27.73 ± 0.14
Negra	28.73 ± 0.85

*Media ± Desviación Estándar.

El almidón de mashua variedad amarilla presentó una media de 27.73 g gel/g muestra, estadísticamente similar al almidón de mashua variedad negra (28.73 g gel/g muestra), los cuales son inferiores que lo reportado por Valcárcel (2010), quien muestra un valor de 33.5 g gel/g muestra para almidón de mashua amarilla.

Tabla 14. Análisis de varianza (ANOVA) del índice de absorción de agua.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F₀	Valor-P
Variedades	1.48096	1	1.48096	3.97	0.1173
Error	1.49371	4	0.373427		
Total	2.97467	5			

En el análisis de varianza (Tabla 14) se observa que no existe diferencia estadísticamente significativa en el índice de absorción de agua de los almidones de mashua amarilla y negra con un 95 % de nivel de confianza, debido que el valor-*P* > 0.05. Por tanto, se acepta la hipótesis nula y rechazamos la hipótesis alterna.

Según Lindeboom et al. (2004), el índice de absorción de agua está relacionada con el tamaño y la forma de los gránulos de almidón, cuanto menor es el tamaño del gránulo existirá mayor capacidad de absorción de agua.

Haciendo una comparación, el índice de absorción de agua de los almidones estudiados es mayor frente al almidón de papa (rango de 6.332 – 10.278 g gel/g muestra) (Díaz, 2015), quinua (5 g gel/g muestra) (Arzapalo et al., 2015) y yuca (rango de 10.7 – 11.1 g gel/g muestra) (García et al., 2013). Por tanto, los almidones estudiados son de alto índice de absorción de agua.

4.2.3. Índice de solubilidad en agua

Tabla 15. Índice de solubilidad en agua.

Tratamientos	Índice de solubilidad en agua (%)
Negra	18.02 ± 1.12
Amarilla	8.44 ± 1.48

*Media ± Desviación Estándar

El almidón de mashua variedad negra presentó una media de 18.02 % de índice de solubilidad en agua, superior al almidón de mashua variedad amarilla (8.44 %);

los cuales son distintos que lo reportado por Hermosa (2013) (rango de 12.18 – 13.60 %) para mashua amarilla, Grados y Gutiérrez (2010) (rango de 12.18 – 13.60 %).

Tabla 16. Análisis de varianza (ANOVA) del índice de solubilidad en agua.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F₀	Valor-P
Variedades	137.771	1	137.771	79.71	0.0009
Error	6.91361	4	1.7284		
Total	144.685	5			

En el análisis de varianza (Tabla 16) se observa existe diferencia estadísticamente significativa en el índice de solubilidad en agua de los almidones de mashua amarilla y negra con un 95 % de nivel de confianza, ya que el valor- $P < 0.05$. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna.

Las diferencias en la solubilidad se deben al contenido de amilosa de los almidones. Según Conde-Petit et al. (2001) citado por Alcázar y Meireles (2015) la amilosa es el principal componente que se lixivia al espacio intergranular. Por lo que el almidón con mayor contenido de amilosa es el más soluble. Además, Arzapalo, et al. (2015) señalan que la solubilidad del almidón está relacionada con las fuerzas o enlaces de unión de la amilosa y amilopectina dentro del almidón, gránulos con enlaces fuertes de unión tienen bajo índice de solubilidad.

Realizando una comparación, el índice de solubilidad de los almidones estudiados es mayor frente al almidón de papa (2.03 – 2.85 %) (Díaz, 2015), quinua (5 %) (Arzapalo et al., 2015), yuca (rango 2 – 3.3 %) (García et al., 2013) y plátano (1.8 %) (Véliz, 2011). Por tanto, los almidones de mashua amarilla y negra son de alta solubilidad.

4.2.4. Poder de hinchamiento

Tabla 17. Poder de hinchamiento.

Tratamientos	Poder de hinchamiento (%)
Negra	39.51 ± 3.61
Amarilla	30.29 ± 0.34

*Media ± Desviación Estándar

El almidón de mashua variedad negra presentó una media de 39.51 %, superior al almidón de mashua variedad amarilla (30.29 %); los cuales son inferiores que lo reportado por Valcárcel (2010) (45 %) para almidón de mashua amarilla.

Tabla 18. Análisis de varianza (ANOVA) del poder de hinchamiento.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F₀	Valor-P
Variedades	127.294	1	127.294	19.41	0.0116
Error	26.2328	4	6.5582		
Total	153.527	5			

En el análisis de varianza (Tabla 18) se observa que existe diferencia estadísticamente significativa en el poder de hinchamiento de los almidones estudiados con un 95 % de nivel de confianza, debido a que el valor- $P < 0.05$. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna.

El poder de hinchamiento del almidón, se ve afectada por las fuerzas de enlaces presentes en el interior del gránulo, por lo tanto, gránulos de almidón altamente asociados con una estructura micelar extensa y fuertemente enlazada generalmente muestran una gran resistencia al hinchamiento (Tester y Morrison, 1990). Por tanto, el alto poder de hinchamiento del almidón de mashua variedad negra sugiere que tienen enlaces más débiles que el almidón de mashua amarilla. Por su parte, Valcárcel (2010) señala que un alto poder de hinchamiento y solubilidad se da cuando las moléculas de amilopectina presentes en el almidón tienen cadenas ramificadas muy largas, las cuales incrementarían el poder del hinchamiento. Según Xie et al. (2008) citado por Alcázar y Meireles (2015) el agua penetra en el interior del gránulo de almidón, hidratando los fragmentos lineales de amilopectina. Este proceso conduce a una hinchazón irreversible, aumentando el tamaño varias veces.

El elevado poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones estudiados, también se puede atribuir al contenido de grupo fosfato presentes en la amilopectina. Estos favorecerían la hidratación del granulo de almidón por medio del debilitamiento de las ligas (Singh, Singh, Kaur, Singh y Singh, 2003).

Realizando una comparación, el poder de hinchamiento de los almidones estudiados es mayor frente al almidón de papa (rango de 6.380 – 10.253 %) (Díaz, 2015), quinua (0.7 %) (Arzapalo et al., 2015), yuca (rango 10.8 – 11.6 %) (García

et al., 2013) y plátano (1.5 %) (Véliz, 2011). Por tanto, los almidones estudiados son de alto poder de hinchamiento.

Por su alto poder de hinchamiento y solubilidad, el almidón de mashua negra podría ser utilizado en la elaboración de tabletas farmacéuticas como aglutinante y disgregante. Según Jover y García (2004) los disgregantes se utilizan para acelerar la disgregación del principio activo en el agua y los jugos digestivos, facilitando así su disolución y absorción. El disgregante más utilizado es el almidón. El mecanismo de acción de los disgregantes se basa en la mayor solubilidad de estos frente al principio activo, o bien en su capacidad de hinchamiento o esponjamiento favoreciendo la penetración de los líquidos en el comprimido y la disgregación de los gránulos.

4.2.5. Propiedades de pasta

A partir del perfil de viscosidad (Figura 5) obtenido en el Analizador de Viscosidad Rápida (RVA), se determinó los siguientes parámetros: viscosidad máxima, viscosidad mínima, viscosidad final, breakdown o inestabilidad del gel y setback o recuperación, las cuales se desarrollan a continuación.

a) Viscosidad máxima

Tabla 19. Viscosidad máxima.

Tratamientos	Poder de hinchamiento (cP)
Negra	6388.31 ± 114.11
Amarilla	6583.05 ± 399.29

*Media ± Desviación Estándar

El almidón de mashua variedad negra presentó una media de 6388.31 cP, estadísticamente similar al almidón de mashua variedad amarilla (6583.05 cP); los cuales son superiores a lo reportado por Valcárcel (2010) quien muestra un rango de viscosidad máxima de 6061.29 – 6342.71 cP para almidón de mashua amarilla.

Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA) de la viscosidad máxima.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F₀	Valor-P
Variedades	56884.4	1	56884.4	0.66	0.4622
Error	344903.	4	86225.7		
Total	401787.	5			

En el análisis de varianza (Tabla 20) se observa que no existe diferencia estadísticamente significativa en la viscosidad máxima de los almidones de mashua amarilla y negra con un 95 % de nivel de confianza, debido a que el valor- $P > 0.05$. Por tanto, se acepta la hipótesis nula y rechazamos la hipótesis alterna. La viscosidad de los almidones según (Chen et al, 1998) es influenciado por la amilosa y amilopectina; cuando la amilosa se entrelaza con la amilopectina mantienen la integridad de los gránulos altamente hinchados, lo que resulta en el pico alto de viscosidad. También, según Hoover (2001) citado por Valcárcel (2010), el contenido de fosforo del almidón afecta las propiedades de pasta, a mayor contenido de fosforo se registra una alta viscosidad.

La viscosidad refleja la capacidad de los gránulos de hincharse libremente antes de su ruptura física. Los almidones que son capaces de hincharse en alto grado también son menos resistentes a la disrupción en la cocción y por lo tanto exhiben una viscosidad que disminuye significativamente después de alcanzar el valor máximo (Singh, Singh, Kau, Singh y Singh, 2003).

Haciendo una comparación, la viscosidad máxima de los almidones estudiados es superior frente al almidón de papa (1428 cP) y yuca (756 cP) (Alvis, Véliz y Mendoza, 2008).

b) Viscosidad mínima

Tabla 21. Viscosidad mínima.

Tratamientos	Viscosidad mínima (cP)
Negra	1314.55 ± 122.97
Amarilla	1243.11 ± 55.59

*Media ± Desviación Estándar

El almidón de mashua variedad negra presentó una media de 1314.55 cP, estadísticamente similar al almidón de mashua variedad amarilla (1243.11cP), los cuales son inferiores que lo reportado por Valcárcel (2010) quien muestra una viscosidad mínima de 2203.75 cP.

Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) de la viscosidad mínima.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F₀	Valor-P
Variedades	7656.71	1	7656.71	0.84	0.4110
Error	36423.9	4	9105.98		
Total	44080.6	5			

En el análisis de varianza (Tabla 22) se observa que no existe diferencia estadísticamente significativa en la viscosidad mínima de los almidones de mashua amarilla y negra con un 95 % de nivel de confianza, debido a que el valor $P > 0.05$. Por tanto, se acepta la hipótesis nula y rechazamos la hipótesis alterna. La viscosidad mínima de los almidones estudiados es superior que la del almidón de papa (1229 cP) y yuca (588 cP) (Alvis et al., 2008).

c) Viscosidad final

Tabla 23. Viscosidad final.

Tratamientos	Viscosidad final (cP)
Negra	2205.83 ± 205.23
Amarilla	2544.46 ± 364.45

*Media ± Desviación Estándar

El almidón de mashua variedad negra mostró una media de 2205.83 cP, estadísticamente similar al almidón de mashua variedad amarilla (2544.46 cP); los cuales se encuentran dentro del rango reportado por Valcárcel (2010) quien muestra valores de 2483.3 – 2598.7 Cp para almidón de mashua amarilla.

Tabla 24. Análisis de varianza (ANOVA) de la viscosidad final.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F ₀	Valor-P
Variedades	172006	1	172006	1.97	0.2335
Error	349889	4	87472.3		
Total	521896	5			

En el análisis de varianza para la viscosidad mínima (Tabla 24) se observa que no existe diferencia estadísticamente significativa en la viscosidad final de los almidones de mashua amarilla y negra con un 95 % de nivel de confianza, ya que el valor-*P* > 0.05. Por tanto, se acepta la hipótesis nula y rechazamos la hipótesis alterna.

Realizando una comparación, la viscosidad final de los almidones estudiados es superior frente al almidón de papa (1389 cP) y yuca (720 cP) (Alvis et al., 2008).

a) Breakdown o inestabilidad del gel

Tabla 25. Breakdown o inestabilidad del gel.

Tratamientos	Inestabilidad del gel (cP)
Negra	5073.76 ± 214.19
Amarilla	5339.94 ± 432.59

*Media ± Desviación Estándar

El almidón de mashua variedad negra presentó una media de 5073.76 cP, estadísticamente similar al almidón de mashua variedad amarilla (5339.94 cP); los cuales son superiores a lo reportado por Valcárcel (2010) quien muestra un valor de 3899 Cp de inestabilidad del gel para almidón de mashua amarilla.

Tabla 26. Análisis de varianza (ANOVA) del breakdown o inestabilidad del gel.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F ₀	Valor-P
Variedades	106283	1	106283.	0.91	0.3936
Error	466025	4	116506.		
Total	572308	5			

En el análisis de varianza (Tabla 26) se observa no existe diferencia estadísticamente significativa en la inestabilidad del gel del almidón de mashua amarilla y negra con un 95 % de nivel de confianza, debido a que el valor- $P > 0.05$. Por tanto, se acepta la hipótesis nula y rechazamos la hipótesis alterna.

Estas diferencias según Higley (2003) citado por Valcarcel (2010) se deben al grado de colapso (alto o bajo) de los gránulos de almidón hinchado.

Haciendo una comparación, la inestabilidad de gel de los almidones estudiados es superior frente al almidón de papa (132 cP) y yuca (168 cP) (Alvis et al., 2008). Por tanto, los almidones estudiados son inestables a la cocción bajo agitación o acción mecánica.

b) Setback o recuperación

Tabla 27. Setback o recuperación.

Tratamientos	Recuperación (cP)
Negra	891.277 ± 275.77
Amarilla	1301.35 ± 417.12

*Media ± Desviación Estándar.

El almidón de mashua variedad negra presentó una media de 891.277 cP, estadísticamente similar al almidón de mashua variedad amarilla (1301.35 cP); los cuales son superiores que lo reportado por Valcárcel (2010) quien muestra un valor de 314.33 Cp.

Tabla 28. Análisis de varianza (ANOVA) del Setback o recuperación.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F_0	Valor- P
Variedades	252245	1	252245.	2.02	0.2285
Error	500070	4	125018.		
Total	752315	5			

En el análisis de varianza (Tabla 28) se observa que no existe diferencia estadísticamente significativa en la recuperación del almidón de mashua amarilla y negra con un 95 % de nivel de confianza, debido a que el valor- $P > 0.05$. Por ello se acepta la hipótesis nula y rechazamos la hipótesis alterna.

Haciendo una comparación, el setback o recuperación de los almidones estudiado son superiores frente al almidón de papa (132 cP) y yuca (160 cP) (Alvis et al., 2008).

Perfil de viscosidad

Durante el análisis del almidón en el Analizador de Viscosidad Rápida (RVA), el producto se calienta en una mezcla de agua, los gránulos de almidón absorben el agua y se hinchan, la estructura cristalina interna se derrite (funde) (gelatinización), los gránulos colapsan y crean una masa homogénea (gel). Los cambios en la viscosidad, producto del calentamiento y del enfriamiento del almidón en agua, producen una curva típica (Perten Instruments, 2015). En la figura 5 se muestra el perfil de viscosidad del almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) de la variedad amarilla y negra.

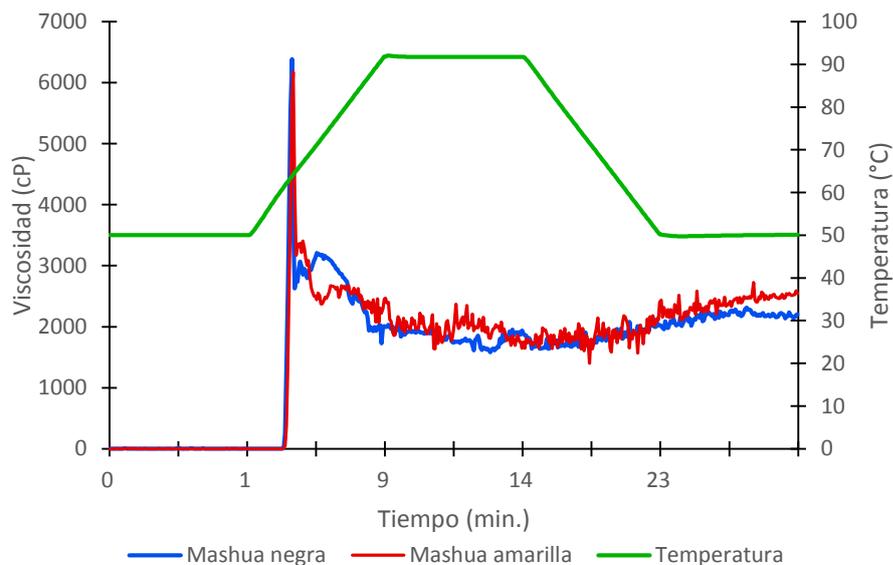


Figura 5. Perfil de viscosidad de pasta de los almidones de mashua amarilla y negra.

En el perfil de viscosidad (Figura 5) se observa que en la etapa de calentamiento la viscosidad de los almidones de mashua variedad amarilla y negra experimentaron un rápido ascenso, signo del hinchamiento de los gránulos hasta llegar a la viscosidad máxima donde ocurrió el empastamiento. En la etapa de temperatura constante la viscosidad tuvo un rápido descenso. Los almidones estudiados se caracterizan por el comportamiento oscilante de la viscosidad, luego del empastamiento.

CONCLUSIONES

Se determinó y comparó las características químicas de los almidones de mashua variedad amarilla y negra; las cuales presentaron diferencias significativas en el contenido de amilosa/amilopectina, siendo el contenido de amilosa en el almidón de mashua negra mayor que en la mashua amarilla. Son almidones de bajo contenido de amilosa y alta amilopectina.

Se determinaron las propiedades funcionales a los almidones, encontrándose diferencias significativas en la temperatura de gelatinización, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento; siendo el índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento mayor en el almidón de mashua negra; la temperatura de gelatinización fue mayor en el almidón de mashua amarilla. Respecto al índice de absorción de agua, los almidones no mostraron diferencias significativas. Son almidones de cocción rápida, alto poder de hinchamiento y alta solubilidad.

Las propiedades de pasta: viscosidad máxima, viscosidad mínima, viscosidad final, inestabilidad del gel y recuperación de los almidones de mashua variedad amarilla y negra no presentaron diferencia significativa. Por tanto, son almidones de alta viscosidad en caliente, baja estabilidad a la cocción bajo agitación o acción mecánica.

RECOMENDACIONES

Por la rápida cocción de los almidones estudiados se recomienda el uso en diversos productos que requieran bajas temperaturas de procesamiento como sopas instantáneas y postres.

Determinar la estabilidad en congelación/descongelación de los almidones de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) variedad amarilla y negra, ya que ello es un indicador de la tendencia del almidón a retrogradar.

Determinar el tamaño y la forma de los gránulos de almidón de mashua estudiados.

Analizar el contenido de fósforo y grasa del almidón de mashua variedad amarilla y negra, porque tienen efecto en las propiedades funcionales.

Por el alto poder de hinchamiento y alta solubilidad del almidón de mashua variedad negra, se recomienda realizar el estudio de la posible utilización como aglutinante y disgregante en la elaboración de tabletas (forma farmacéutica sólida suministrada por vía oral).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvis, A., Vélez, C. A., Villada, H. S. y Mendoza, M. R. (2008). Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica*, 19 (1), 19 – 28. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v19n1/art04.pdf>
- Álzate, J. C., Quintero, V. D., y Lucas, E. N. (2013). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto (*Erytina Edulis Triana Ex Micheli*). *Revista temas agrarios*, 18(2), 21 – 35. Recuperado de <http://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/714/830>
- Alcázar, S. C. y Meireles, M. A. A. (2015). Propiedades fisicoquímicas, modificaciones y aplicaciones de almidones de diferentes fuentes botánicas. *Food Science and Technology*, 35(2), 215 – 236.
- Anderson, R., Conway, H.F., Pheiser, V.F. y Griffin, E.L. (1969). Gelatinización de granos de maíz por rodillo y cocción por extrusión. *Cereal Science Today*, 14: 4 - 12.
- Aristizábal, J. y Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (163)*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a1028s.pdf>
- Arzapalo, D., Huamán, K., Quispe, M., y Espinosa, C. (2015). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) negra collana, pasankalla roja y blanca junín. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(1), 44 – 54.
- Badui, S. (2013). *Química de los alimentos*. México: Pearson Educación.
- Belitz, H. D., Grosch, W. y Schieberle, P. (2009). *Química de alimentos*. Berlín, Alemania: Springer.
- BeMiller, J. y Whistler, R. (2009). *Almidón: química y tecnología*. Recuperado de <http://197.14.51.10:81/pmb/AGROALIMENTAIRE/Starch.pdf>
- Biliaderis, C. G. (1991). La Estructura e Interacciones del Almidón con los Constituyentes Alimenticios. *Can J. Phyciol Pharmacol*, 69: 60-78. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/21118614_The_Structure_and_I](https://www.researchgate.net/publication/21118614_The_Structure_and_Interactions_of_Starch_with_Food_Constituents)
[nteractions_of_Starch_with_Food_Constituents](https://www.researchgate.net/publication/21118614_The_Structure_and_Interactions_of_Starch_with_Food_Constituents)

- Buarque, A. (1975). *Diccionario Aurelio de la Lengua Portuguesa*. Sao Paulo, Brasil: Editora positivo.
- Castejón, O. (2011). *Diseño y análisis de experimentos con Statistix*. Macaibo Venezuela: Fondo Editorial Biblioteca.
- Coultate, T. P. (1998). *Manual de química y bioquímica de los alimentos*. Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A.
- Chang, R. y College, W. (2002). *Química*. México: McGraw-Hill.
- Chen, Y., McPherson, A. E., Radosavljevic, M., Lee, V., Wong, K.-S. Y Jane, J. (1998). Efectos de las estructuras químicas del almidón en la de gelatinización y propiedades de empastado. Recuperado de http://wydawnictwo.ptz.org/wp-content/uploads/2017/12/05_Chen.pdf
- Debet, R. M., y Gidley, J. M. (2006). Tres clases de hinchazón de gránulos de almidón: Influencia de proteínas de superficie y lípidos. *Carbohydrate Polymers*, 64, 452 - 465.
- Diaz, Y. (2015). *Determinación de las propiedades físicas, químicas, tecnofuncionales y la estabilidad en congelación/descongelación del almidón de cuatro variedades de Solanum tuberosum ssp. andigenum (papa nativa)* (tesis de pregrado). Universidad Nacional José María Arguedas, Andahuaylas, Perú.
- Espinosa, V. (2008). *Estudios estructurales de almidón de fuentes no convencionales: mango (Mangifera indica L.) y platano (Musa paradisiaca L.)* (tesis de maestría). Instituto politécnico nacional, Yautepec, Morelos, México.
- Fano, H y Benavides, M. (1992). *Los cultivos andinos en perspectiva*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa.
- Fennema, O.R. (2000). *Química de los alimentos*. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- García, Pinzón y Sánchez (2013). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. *@limentech*, 11(1), 13 – 21.
- Goncalves, F. H. (2003). *Características estructurales y físico-químicas de almidones obtenidos de diferentes fuentes botánicas* (tesis de maestría). Universidad Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Sao Paulo, Brasil.

- Gonzales, S., Almanza, J., Oros, R., Devaux, A. (2003). *Producción de oca (Oxalis tuberosa), papalisa (Ullucus tuberosus) e isaño (Tropaeolum tuberosum): Avances en la investigación del manejo agronómico*. Cochabamba, Bolivia: Fundación PROINPA.
- Grados, M. Y. y Gutiérrez, Y. L. (2010). *Caracterización fisicoquímica y reológica del almidón de Tropaeolum tuberosum, variedad amarilla proveniente de San Marcos – Cajamarca y Otuzco – La Libertad* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Grau, A., Ortega, R., Nieto, C. y Hermann, M. (2003). Mashua (*Tropaeolum Tuberosum* Ruíz & Pav). Recuperado de https://www.bioversityinternational.org/uploads/tx_news/Mashua__Tropaeolum_tuberosum_Ru%C3%ADz__amp__Pav._880.pdf
- Guan, J., y Hanna, A. (2004). Extrusión de espumas de acetato de almidón de maíz y almidón de maíz nativo. *Biomacromolecules*, 5, 2329 - 2339.
- Gutiérrez, H. y Vara de la, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill.
- Hermosa, G. del C. (2013). *Caracterización de almidones de dos tubérculos andinos: isaño (Tropaeolum tuberosum R&P) y oca (Oxalis tuberosa Mol)* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Hernández, J. E. y León, J. (1992). Cultivos marginados otra perspectiva de 1492. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/018/t0646s/t0646s.pdf>
- Hoover, R. (2001). Composición, estructura molecular, y las propiedades bioquímicas de tubérculos y las raíces: la revisión. *Carbohydrate Polymers*, 45(3), 253 - 267
- Hoover, R., Sailaja, Y., y Sosulki, F. (1996). Caracterización de almidones de arroz integral silvestre y de grano largo. *Food Research International*, 99-107.
- Hwang, J., y Kokini, I. (1992). Contribución de las ramas laterales para las propiedades reológicas de las pectinas. *Carbohidratos y Polimeros*, 41-50.
- ISO. (1987). "Arroz. Determinación del contenido de amilosa. Parte 1: Método de referencia. Recuperado de <file:///C:/Users/HP/Downloads/standard6323.pdf>
- Jover, A. y García, M. J. (2004). *Manual del auxiliar de farmacia*. Sevilla, España: Editorial MAD, S. L.

- Leach, H. W., McCowen, L. D. y Schoch, T. J. (1959). Estructura del gránulo de almidón y patrones de hinchamiento y solubilidad de diversos almidones. *Cereal Chemistry*, 36, 534 – 544.
- Lindeboom, N., Chang, P., y Tyler, R. (2004). Aspectos analíticos, bioquímicos y fisicoquímicos de tamaño de los gránulos de almidón, con énfasis en los pequeños almidones granulares. *Almidón*, 56, 89-99.
- Manrique, I., Arbizu, C., Vivanco, F., Gonzales, R., Ramírez, C., Chávez, O., Tay, D. y Ellis D. (2013). *Tropaeolum tuberosum Ruíz & Pav.* Recuperado de <https://nknxms1019hx1xmtstxk3k9sko-wpengine.netdna-ssl.com/genbankcip/wp-content/uploads/sites/3/2017/05/Catalogo-mashua-CIP.pdf>
- Mcmurry, J. (2008). *Química Orgánica*. Santa Fe, México: sengage learning.
- Moreira, T. (2007). *Desarrollo y evaluación de películas biodegradables de polietileno incorporado de almidón de grao de boquilla de grao-de-bico (Cicer arietinum L.)* (tesis de maestría). Universidad Federal de Vicoso, Vicoso, Brasil. Recuperado de <http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2958/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Noda, T., Kobayashi, T. y Suda, I. (2001). Efecto de la temperatura del suelo en las propiedades del almidón de las batatas. *Carbohydrate Polymers*, 44 (3), 239 - 246. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861700002277>
- Ojeda, M. J. (2008). *Comparación de Algunas Propiedades Físicas y Composición Química del Almidón de Piñón (Araucaria araucana (Mol) K. Koch), Papa (Solanum tuberosum L. ssp. tuberosum Hawkes) y Maíz (Zea mays L.)* (tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Perten Instruments. (2015). *Analizador Rápido de Viscosidad*. Recuperado de https://www.perten.com/Global/Brochures/RVA/RVA%20brochure_SPA_20150123.pdf
- Sánchez, I. (2007). *Propiedades fisicoquímicas de almidones catiónicos elaborados por extrusión* (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.

- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Singh, N. y Singh B. (2003). Propiedades morfológicas, térmicas y reológicas de almidones de diferentes fuentes botánicas. *Food Chemistry*, 81 (2003), 219–231.
- Tapia, M. E. y Fries, A.M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/010/ai185s/ai185s.pdf>
- Tester, R. y Morrison, W. (1990). Hinchazón y gelatinización de almidones de cereales. I. Efectos de la amilopectina, la amilosa y los lípidos. *Cereal Chemistry*, 67(6), 551 – 557.
- Torres, A., Montero, P. y Duran, M. (2013). Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*). *Revista Lasallista de Investigación*, 10 (2), 52 – 61.
- Troncoso, H. y Omar, Paul, O. (2011). *Desarrollo de armazones (scaffolds) biodegradables procesados por microondas para su aplicación en ingeniería de tejidos* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Valcárcel, B. (2010). *Caracterización fisicoquímica y funcional de almidón de tuberosas originarias América del Sur: oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ulucus tuberosus* Caldas) y mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón)* (tesis de maestría). Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil.
- Véliz, E. O. (2011). *Caracterización fisicoquímica y reológica del almidón de plátano (*Musa paradisiaca* AAB) variedad guineo verde o hartón cultivado en la Provincia de Jaén* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú.

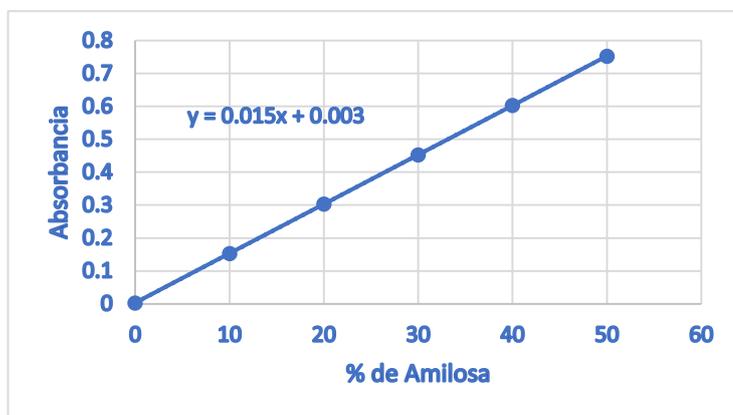
ANEXO

Anexo 1. Rendimiento de almidón.

Tratamientos	Rendimiento (%)
Negra	0.57 ± 0.02
Amarilla	1.58 ± 0.50

*Media ± Desviación Estándar

Anexo 2. Curva estándar de amilosa.



Anexo 3. Resultados de las características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua de las variedades amarilla y negra.

3.1. Contenido de amilosa (%).

Variedades	R1	R2	R3
Amarilla	23.60	23.53	23.60
Negra	24.40	24.07	24.00

3.2. Contenido de amilopectina (%).

Variedades	R1	R2	R3
Amarilla	76.40	76.47	76.40
Negra	75.60	75.93	76.00

3.3. Temperatura de gelatinización (°C).

Variedades	R1	R2	R3
Amarilla	63.00	63.50	63.70
Negra	59.60	59.80	59.31

3.4. Índice de absorción de agua (g gel/g muestra).

Variedades	R1	R2	R3
Amarilla	27.7374	27.8673	27.5940
Negra	27.7968	29.4740	28.9088

3.5. Índice de solubilidad en agua (%).

Variedades	R1	R2	R3
Amarilla	8.2922	7.0347	9.9881
Negra	16.7850	18.9759	18.3052

3.6. Poder de hinchamiento (%).

Variedades	R1	R2	R3
Amarilla	30.2454	29.9760	30.6560
Negra	42.8401	35.6793	39.9943

3.7. Viscosidad máxima (Cp).

Variedades	R1	R2	R3
Amarilla	6983.01	6184.44	6581.69
Negra	6517.80	6344.68	6302.45

3.8. Viscosidad mínima (cP).

Variedades	R1	R2	R3
Amarilla	1238.81	1300.72	1189.79
Negra	1206.01	1448.10	1289.55

3.9. Viscosidad final (cP).

Variedades	R1	R2	R3
Amarilla	2714.71	2126.04	2792.64
Negra	2131.55	2048.08	2437.86

3.10. Breakdown o inestabilidad del gel (cP).

Variedades	R1	R2	R3
Amarilla	5744.21	4883.72	5391.90
Negra	5311.79	4896.58	5012.90

3.11. Setback o recuperación (cP).

Variedades	R1	R2	R3
Amarilla	1475.90	825.32	1602.85
Negra	925.54	599.98	1148.31

Anexo 4. Fotografías de las variedades de mashua.



Fotografía 1. Mashua variedad amarilla.



Fotografía 2. Mashua variedad negra.

Anexo 5. Fotografías de la realización de la parte experimental.

5.1. Determinación del contenido de amilosa y amilopectina.



Fotografía 3. Gelatinización de las muestras.



Fotografía 4. Preparación de las muestras y del blanco.



Fotografía 5. Medición de la absorbancia.

5.2. Determinación de la temperatura de gelatinización.

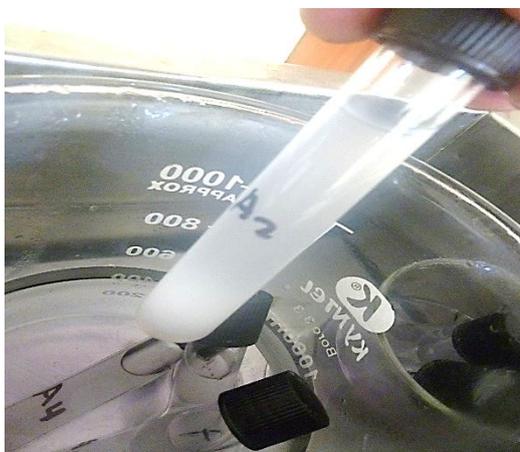


Fotografía 6. Medición de la temperatura de gelatinización.



Fotografía 7. Muestras de almidones gelatinizados.

5.3. Determinación del índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento.



Fotografía 8. Gelatinización de muestras de almidón en baño maría.



Fotografía 9. Centrifugado de las muestras.



Fotografía 10. Medición del sobrenadante.



Fotografía 11. Secado del sobrenadante en estufa.

Anexo 6. Matriz de consistencia.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE MASHUA (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) DE LAS VARIEDADES AMARILLA Y NEGRA								
PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	INDICADOR	MÉTODO	RECOLECCIÓN DE DATOS		METODOLOGÍA
						TÉCNICA	INSTRUMENTO	
<p>Problema general</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Existen diferencias en las características químicas y propiedades funcionales entre el almidón de mashua de la variedad amarilla y negra? 	<p>Hipótesis general</p> <ul style="list-style-type: none"> Existe diferencia en las características químicas y propiedades funcionales entre el almidón de mashua de la variedad amarilla y negra. 	<p>Objetivo general</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar y comparar las características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua de la variedad amarilla y negra. 	<p>Variable independiente Almidón de mashua (variedad amarilla y negra).</p>	<p>Características de los tubérculos</p>	<p>Experimental</p>	<p>Extracción de almidón</p>		<p>Población Toda la mashua de las variedades amarilla y negra cultivadas en la Comunidad de Huancabamba.</p> <p>Muestra 15 kg de mashua (por cada variedad) obtenidos por un muestreo estratificado al azar.</p> <p>Diseño experimental Se aplicó el diseño completamente al azar (DCA).</p>
<p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Existe diferencia en el contenido de amilosa y amilopectina entre el almidón de mashua de la variedad amarilla y negra? ¿Existe diferencia en la temperatura de gelatinización, índice de solubilidad, poder de hinchamiento, índice de absorción de agua y propiedades de pasta entre el almidón de mashua de las variedades amarilla y negra? 	<p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Existe diferencia en el contenido de amilosa y amilopectina entre el almidón de mashua de la variedad amarilla y negra. Existe diferencia en la temperatura de gelatinización, índice de solubilidad, poder de hinchamiento, índice de absorción de agua y propiedades de pasta entre el almidón de mashua de la variedad amarilla y negra. 	<p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar y comparar el contenido de amilosa y amilopectina del almidón de mashua de la variedad amarilla y negra. Determinar y comparar la temperatura de gelatinización, índice de solubilidad, poder de hinchamiento, índice de absorción de agua y propiedades de pasta del almidón de mashua de la variedad amarilla y negra. 	<p>Variables dependientes Características químicas</p>	<p>Contenido de amilosa y amilopectina</p>	<p>Experimental</p>	<p>Cálculo</p>	<p>Espectrofotómetro</p>	
			<p>Propiedades funcionales</p>	<p>Temperatura de gelatinización</p>	<p>Experimental</p>	<p>Registro de datos</p>	<p>Termómetro</p>	
				<p>Índice de absorción de agua</p>	<p>Experimental</p>	<p>Cálculo</p>	<p>Balanza</p>	
				<p>Índice de solubilidad</p>	<p>Experimental</p>	<p>Cálculo</p>	<p>Balanza</p>	
				<p>Poder de hinchamiento</p>	<p>Experimental</p>	<p>Cálculo</p>	<p>Balanza</p>	
				<p>Propiedades de pasta: viscosidad máxima, mínima y final, Breakdown y setback.</p>	<p>Experimental</p>	<p>Cálculo</p>	<p>Analizador de Viscosidad Rápida (RVA)</p>	