



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Química e Ingeniería Química

Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

**Caracterización del almidones de variedades de
mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y su obtención en
jarabe de glucosa**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Agroindustrial

AUTORES

Alexandra Cyndia ARROYO ARANDO

Angie Ximena BALCAZAR RUIZ

ASESOR

Carlos Alberto SUCA APAZA

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Arroyo, A. & Balcazar, A. (2023). *Caracterización del almidones de variedades de mashua (Tropaeolum tuberosum) y su obtención en jarabe de glucosa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Alexandra Arroyo Arando
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72511927
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-8331-2529
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Angie Ximena Balcazar
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74762316
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0004-2567-202X
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	CARLOS ALBERTO SUCA APAZA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01334382
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5147-0104
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	15612279
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	FERNANDO SUCA APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40375320
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	CARLOS ALBERTO SUCA APAZA
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	01334382
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.1. Productos naturales
Grupo de investigación	
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial - UNMSM Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Juan de Lurigancho Avenida: 4756 Fernando Wiesse Latitud: -11.95367861181236 Longitud: -76.9871762866748
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023
URL de disciplinas OCDE	Alimentos y bebidas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.01 Otras ingenierías, Otras tecnologías https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.00 Ingeniería de procesos http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2023", bajo la Presidencia del Ing. PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO; Dr. FERNANDO SUCA APAZA (Miembro) y el Ing. CARLOS ALBERTO SUCA APAZA (Asesor); habiendo presentado para tal efecto la TESIS, titulada "Caracterización del almidones de variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y su obtención en jarabe de glucosa" después de SUSTENTADA Y APROBADA la tesis elaborada por la bachiller en Ingeniería Agroindustrial: ANGIE XIMENA BALCAZAR RUIZ; para optar el TÍTULO PROFESIONAL de INGENIERA AGROINDUSTRIAL, acordaron calificarla con la NOTA de:


DIECIOCHO


(LETRAS)

18

(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 16 de diciembre del 2023.


Ing. PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO
Presidente


Dr. FERNANDO SUCA APAZA
Miembro


Ing. CARLOS ALBERTO SUCA APAZA
Asesor


Dr. EDGAR ORLANDO NAGLES VIDA
Director de la E.P. de Ingeniería Agroindustrial



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2023", bajo la Presidencia del Ing. **PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO**; Dr. **FERNANDO SUCA APAZA** (Miembro) y el Ing. **CARLOS ALBERTO SUCA APAZA** (Asesor); habiendo presentado para tal efecto la **TESIS**, titulada "Caracterización del almidones de variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y su obtención en jarabe de glucosa" después de **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborado por la bachiller en Ingeniería Agroindustrial: **ALEXANDRA CYN DIA ARROYO ARANDO**; para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERA AGROINDUSTRIAL**, acordaron calificarla con la **NOTA** de:

DIECIOCHO

(LETRAS)

18

(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 16 de diciembre del 2023.

Ing. **PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO**
Presidente

Dr. **FERNANDO SUCA APAZA**
Miembro

Ing. **CARLOS ALBERTO SUCA APAZA**
Asesor

Dr. **EDGAR ORLANDO NAGLES VIDAL**
Director de la E.P. de Ingeniería Agroindustrial





CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Carlos Alberto Suca Apaza en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N° 000025-2024-D-FQIQ/UNMSM de la tesis, cuyo título es “**Caracterización del almidón de variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y su obtención en jarabe de glucosa**”, presentado por las bachilleres en Ingeniería Agroindustrial Alexandra Arroyo Arando - Angie Ximena Balcazar Ruiz optar el título Profesional de Ingeniera Agroindustrial CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **15%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención el título correspondiente.



DNI: 01334382

Carlos Alberto Suca Apaza
Asesor

DEDICATORIA

A mis padres Margarita y Julio, por apoyarme en todo momento durante el transcurso de mi carrera hasta lograr el objetivo. Enseñarme sobre todo los valores y la perseverancia en cualquier aspecto de mi vida.

A mis hermanos Cynthia, Kike, Rocío y Rafael, por darme su compañía, ánimos y confianza.

A Gladys que me apoya desde lejos con sus rezos y bendiciones, que me llenan de fuerza y energía para seguir adelante.

Alexandra Cyndia Arroyo Arando

A Dios, quién es mi guía para tomar decisiones importantes y me ha llenado de fuerza para poder lograr cada uno de mis objetivos.

A mi madre Flor, quién es mi principal motor y motivo para que se sienta siempre orgullosa, por demostrarme su resiliencia, forjar un camino de bien para mí y por su inmenso amor.

A mi padre Marino, quién me enseñó lo fuerte de la vida y gracias a su ayuda pude lograr concluir mi carrera. A ambos decirles que los amo infinitamente y siempre los llevo presente en mi corazón.

A mis tías Juani y Victoria, quienes son mis protectoras, por estar para mí en cuanto lo necesito, por su aliento y consejos.

Angie Ximena Balcazar Ruiz

AGRADECIMIENTOS

A mi amiga Franchesca que está en España, quien la conozco desde primaria siempre me ha llenado de energía y buenos ánimos durante mi vida. Aunque no estes aquí amiga, te llevo presente.

A mi enamorado Leonardo, quien me acompaña y apoya en todo lo que necesito. Gracias por ayudarme cuando necesité de tu apoyo no solo en la tesis, sino en otros aspectos también, siento tu apoyo y cariño.

A mi amiga Ximena, compañera de tesis, ambas hemos luchado por este logro desde el primer día. No fue un camino fácil, pero has sido una gran compañera durante toda nuestra travesía. Gracias, amiga.

Alexandra Cyndia Arroyo Arando

A mi compañero de vida, Leandro, quién ahora es mi soporte, me comprende, motiva y me ayuda a solucionar cualquier problema, gracias por hacerme más bellos mis días. A su madre por sus atenciones y brindarme un espacio en su hogar.

A mis primas Katty y Nicole, quienes a lo largo de mi vida han sido motivo de muchas emociones y risas, gracias por ser tan genuinas, las quiero, lograrán todo lo que anhelan.

A mis amigos que sé que quieren lo mejor para mí, Giselle, Xiomara y Deza.

A mi “Team dream” de la carrera, chicos gracias por todos los bonitos momentos en la universidad y en casa por Discord, fueron mi alegría en momentos difíciles.

A cada una de las personas que se han preocupado por mi bienestar, me enseñaron muchas de las cosas que sé, los considero mi familia.

A Alexandra, por ser mi compañera en esta investigación, compartimos muchas experiencias en este tiempo de tesis, ha sido un duro camino, pero lo logramos. Espero todo lo mejor de la vida para ti, amiga.

Angie Ximena Balcazar Ruiz

A nuestros profesores que nos encaminaron para poder hacer realidad este proyecto de tesis.

A nuestro asesor el Ing. Carlos Suca, gracias por su enseñanza, paciencia y buen humor.

Gracias a su guía, hemos podido llegar a concretar el trabajo de tesis.

Al profesor, el Ing. Leoncio Reyna, quién fue parte fundamental para la realización de este trabajo, gracias por su infinita disposición con los alumnos y la ciencia, muchas bendiciones para usted.

A la Ing. Carmen Orihuela por su motivación y colaboración en este trabajo, gracias por su entrega a la docencia.

Al Dr. Edgar Nagles por facilitarnos las instalaciones del laboratorio que tiene a cargo y los equipos en el.

A la señora Carmen, secretaria de la Escuela de Ing. Agroindustrial, gracias por apoyarnos y escucharnos cuando tuvimos inconvenientes en el desarrollo del trabajo de tesis.

Alexandra Cyndia Arroyo Arando y Angie Ximena Balcazar Ruiz

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.1.1 Pregunta general	5
1.1.2 Preguntas específicas.....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.4 OBJETIVOS.....	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
1.5 PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS	7
1.6 LIMITACIONES DEL ESTUDIO	7
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	8
3.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	8
3.2 BASES TEÓRICAS	12
3.2.1 Mashua.....	12
3.2.2 Almidón	15
3.2.3 Glucosa	17
3.2.4 Enzimas amilolíticas.....	17
3.2.5 Hidrólisis enzimática	18
3.2.6 Jarabe de glucosa	19
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	20
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	20
3.2. LUGAR DE EJECUCIÓN	20
3.3 MATERIALES Y EQUIPOS	20
3.3.1 Materia prima	20
3.3.2 Equipos e instrumentos.....	22
3.3.3 Reactivos químicos	22
3.3.4 Materiales de laboratorio y utensilios.....	23
3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	23

3.4.1	Conducción de la investigación.....	23
3.4.2	Evaluación biométrica de las variedades de mashua.....	24
3.4.3	Propiedades fisicoquímicas de las variedades de mashua.....	25
3.4.4	Observación microscópica de amiloplastos de las variedades de mashua.....	26
3.4.5	Extracción de almidón.....	26
3.4.6	Propiedades funcionales del almidón.....	30
a.	Temperatura de gelatinización.....	30
b.	Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento.....	30
c.	Sinéresis.....	31
3.4.7	Caracterización morfológica del gránulo de almidón.....	32
3.4.8	Hidrolisis enzimática de almidones de mashua.....	33
3.4.9	Análisis fisicoquímico del jarabe de glucosa obtenido.....	36
3.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS.....	37
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		39
4.1	Evaluación biométrica de las variedades de mashua.....	39
4.2	Propiedades fisicoquímicas de las variedades de mashua.....	41
4.3	Rendimiento de extracción de almidón.....	43
4.4	Propiedades funcionales.....	46
4.4.1	Temperatura de gelatinización.....	46
4.4.2	Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH).....	47
4.4.3	Sinéresis.....	51
4.5	Caracterización morfológica del gránulo de almidón.....	52
4.6	Hidrolisis enzimática de los almidones.....	58
4.7	Caracterización del jarabe de glucosa obtenido.....	61
CONCLUSIONES.....		63
RECOMENDACIONES.....		64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		65
ANEXOS.....		76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Diseños de cerámica Nazca representan tubérculos andinos	13
Figura 2	Estructura de amilosa y amilopectina.....	16
Figura 3	Cuatro variedades de mashua estudiadas	21
Figura 4	Conducción de la investigación.....	23
Figura 5	Caracterización biométrica de las variedades de mashua	24
Figura 6	Análisis fisicoquímico de las variedades de mashua.....	26
Figura 7	Proceso de extracción de almidón	28
Figura 8	Determinación de propiedades funcionales.....	32
Figura 9	Regla micrométrica de calibración.....	33
Figura 10	Flujograma para la obtención de jarabe de glucosa	35
Figura 11	Determinación de características fisicoquímicas en los jarabes obtenidos	37
Figura 12	Cuatro variedades de mashua investigadas	41
Figura 13	Almidones extraídos de cuatro variedades de mashua.....	45
Figura 14	Porcentaje de sinéresis de almidones extraídos de mashua.....	51
Figura 15	Vista al microscopio de gránulos de almidón de las variedades de mashua	53
Figura 16	Distribución de tamaños de gránulos de almidón de las variedades de mashua ...	54
Figura 17	Relación de aspecto del gránulo de almidones de mashua.....	57
Figura 18	Gráfico del proceso de licuefacción en tres variedades de mashua	59
Figura 19	Gráfico del proceso de sacarificación en tres variedades de mashua.....	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Composición proximal de tubérculos andinos	14
Tabla 2	Matriz de diseño experimental tipo DCA	38
Tabla 3	Características biométricas de las variedades de mashua	39
Tabla 4	Propiedades fisicoquímicas de las cuatro variedades de mashua.....	42
Tabla 5	Rendimiento de almidón de cuatro variedades de mashua	44
Tabla 6	Temperatura de gelatinización por variedad de mashua	46
Tabla 7	Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad de agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH) de almidones de variedades de mashua	47
Tabla 8	Estadísticas descriptivas de los tamaños de gránulos de almidón de las cuatro variedades mashua	56
Tabla 9	Equivalente de dextrosa durante el proceso de licuefacción.....	58
Tabla 10	<i>Equivalente de dextrosa durante el proceso de sacarificación</i>	60
Tabla 11	Parámetros fisicoquímicos de los jarabes de glucosa obtenidos	61

LISTA DE ANEXOS

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue describir las características biométricas, propiedades fisicoquímicas y las propiedades tecno funcionales de almidones de cuatro variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), y su aptitud para la obtención de jarabe de glucosa mediante hidrólisis enzimática. Se caracterizó los tubérculos de cuatro variedades de mashua luego, se extrajo los almidones por medio mecánico de licuado y molienda de los tubérculos. Los gránulos de almidones fueron caracterizados en sus propiedades tecno funcionales como temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua, poder de hinchamiento y porcentaje de sinéresis. Se obtuvo que las temperaturas de gelatinización variaron desde 59 a 62°C, tamaño y distribución fue de 2 a 39 μm , con una forma circular y ovalada. Sus propiedades tecno funcionales fueron óptimas para tener un almidón de buena calidad. En la hidrólisis enzimática, hay diferencias significativas entre las variedades para la obtención de jarabe de glucosa con equivalente de dextrosa en un rango de 69.50 a 72.04 %. Se concluye que los almidones de las cuatro variedades de mashua muestran una buena aptitud en la obtención de jarabe de glucosa.

Palabras clave: *propiedades tecno funcionales, hidrólisis enzimática, equivalente dextrosa y Tropaeolum tuberosum.*

ABSTRACT

The objective of the present research work was to describe the biometric characteristics, physicochemical properties and techno-functional properties of starches from four varieties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*), and their suitability for obtaining glucose syrup through enzymatic hydrolysis. The tubers of four varieties of mashua were characterized, then the starches were extracted by mechanical means of liquefying and grinding the tubers. The starch granules were characterized in their techno-functional properties such as gelatinization temperature, water absorption index, water solubility index, swelling power and syneresis percentage. It was obtained that the gelatinization temperatures varied from 59 to 62°C, size and distribution was from 2 to 39 µm, with a circular and oval shape. Its techno-functional properties were optimal to have a good quality starch. In enzymatic hydrolysis there are statistically significant differences between the varieties to obtain glucose syrup with a dextrose equivalent in a range of 69.50 to 72.04%. It is concluded that the starches of the four varieties of mashua show good aptitude in obtaining glucose syrup.

Keywords: *techno-functional properties, enzymatic hydrolysis, dextrose equivalent and Tropaeolum tuberosum.*

INTRODUCCIÓN

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es un tubérculo andino que tiene muchas ventajas económicas, dentro de las que destacan su contenido de sustancias benéficas para la salud, como compuestos fenólicos y su alta productividad, debido a que posee sustancias que impiden el ataque de plagas. Además, este cultivo requiere poca atención cultural y es próspera aún en condiciones adversas de clima y suelo. Con todas estas ventajas, este cultivo podría convertirse en una alternativa industrial para la producción de derivados alimenticios. Lamentablemente, pese a sus ventajas, es un producto escasamente conocido y su consumo está restringido a comunidades de personas que viven alejadas de los grandes centros urbanos, pequeños pueblos asentados a lo largo de la cordillera de los andes.

Con el fin de fomentar su consumo, Campos *et al.* (2006) realizó estudios sobre sus compuestos fenólicos mostrando tener efectos benéficos para la salud, así como su efectividad en la conservación de varios alimentos procesados. Otros investigadores han continuado estudiando estos compuestos minoritarios de la mashua. Sin embargo, trabajos recientes han puesto el interés en estudiar los compuestos mayoritarios como los almidones. Es así como Velásquez *et al.* (2021), determinaron las características fisicoquímicas, térmicas, pastosas, digestibilidad y moleculares de almidones nativos de mashua, así como de la oca y el olluco.

En todas las investigaciones se han caracterizado escasamente dos variedades y no se ha verificado la aptitud de más almidones de mashua en la obtención de jarabe de glucosa. Es por ello, que se ha decidido ampliar la investigación buscando encontrar diferencias entre las características de los almidones de mashua de otras variedades. Por lo tanto, se tiene el objetivo de describir las características biométricas, propiedades fisicoquímicas de los tubérculos y las propiedades tecno-funcionales de sus almidones de cuatro variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), y su aptitud para obtener jarabe de glucosa mediante hidrólisis enzimática.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La mashua es uno de los tubérculos andinos endémicos subutilizados, se considera un producto marginado, casi olvidado, ya que su consumo es mayoritariamente local en los pequeños poblados donde se produce (Pastor *et al.*, 2006). El rendimiento del cultivo de mashua es muy alto y rentable, pudiendo llegar a alcanzar hasta 25 t/ha (Ordoñez, 2020). Pero, a pesar de esta y otras innumerables ventajas como ser cultivo resistente a plagas, tener usos medicinales para reducir inflamaciones de próstata y poseer compuestos fenólicos o bioactivos (Dilas y Ascurra, 2020), la mashua no es conocida, ni es consumida ni mucho menos apreciada fuera del ámbito de sus zonas de producción, seguramente porque además poseer un elevado contenido de glucosinolatos, sustancias presentes en mayor o menor grado que le confieren un amargor que hace inviable su consumo o requieren de un proceso de exposición al sol para que adquiera un sabor dulce, esto implica tiempo, dinero y equipo, si se desea lograr de forma industrial.

La mayoría de las investigaciones en mashua se han enfocado más en sus propiedades antioxidantes de las variedades más conocidas que son la *Amarilla* y *Negra*, dejando de lado otros componentes mayoritarios como el almidón. Este biopolímero de origen vegetal presente en granos, cereales, tubérculos, entre otros; es un compuesto de reserva energética de las plantas, que tienen innumerables aplicaciones en la industria. Sin embargo, para hacer factible la aplicación de nuevas fuentes de almidón como las de la mashua, deben conocerse sus propiedades químicas, funcionales y morfológicas para destinarlo a un uso adecuado. El desconocimiento de estas propiedades acarrea problemas serios a la hora de utilizar en distintas aplicaciones. A la fecha se han encontrado escasos estudios que describan sus propiedades físico-químicas y funcionales, por ejemplo el trabajo de investigación de Quispe Ruiz (2018), tiene el objetivo de caracterizar propiedades químicas y funcionales de la variedad *Amarilla* y

Negra, sin embargo no se considera otras de las más de 100 variedades de mashua que posee el Perú, esto quiere decir que realmente no se conoce totalmente las propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales de otras variedades de mashua, si no se conoce completamente esta parte, muchos menos se ha estudiado su capacidad fermentable. No hay estudios amplios sobre la cinética de conversión en azúcares fermentables de variedades de mashua para obtener un jarabe de glucosa como producto final de la hidrólisis. El jarabe de glucosa son soluciones concentradas de almidón parcialmente hidrolizado, que se comercializan en forma líquida y se clasifican según su equivalente de dextrosa, hay 4 tipos de jarabes de glucosa que depende de su porcentaje de azúcares reductores. El proceso de hidrólisis que involucra para la obtención de este producto parte desde la concentración de almidón utilizado y pasa mediante un rompimiento de enlaces por dos enzimas como la alfa-amilasa y glucoamilasa.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Pregunta general

¿Cuáles son las características biométricas, las propiedades fisicoquímicas de los tubérculos y las propiedades tecno-funcionales de sus almidones de cuatro variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), y su aptitud para obtener jarabe de glucosa mediante hidrólisis enzimática?

1.1.2 Preguntas específicas

- ¿Cuáles son las características de diámetro mayor, peso, longitud, forma del tubérculo, profundidad de ojos, coloración predominante y secundaria de la pulpa, y cáscara de las variedades de mashua *Amarilla*, *Negra* “*Lagrima de Cristo*” y “*Ojo de paloma*”?

- ¿Cuáles son las propiedades de temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua, poder de hinchamiento y morfología de los gránulos de almidones nativos de las cuatro variedades de mashua?
- ¿Cuál será la aptitud de conversión en jarabe de glucosa a partir de los almidones extraídos de tres variedades de mashua por medio de la hidrólisis enzimática?

1.3 JUSTIFICACIÓN

El almidón es uno de los compuestos mayormente utilizados en aplicaciones industriales (espesante, aglutinante, emulsificante, estabilizador, gelificante, etc.), por esta razón es importante conocer su caracterización química, morfológica y sus propiedades funcionales, las mismas que varían según la especie de la que se extrae. Por esta razón, es imprescindible conocer estas propiedades si se buscan nuevas fuentes amiláceas y saber en qué aplicaciones son adecuadas.

En consecuencia, el presente trabajo tiene como objetivos caracterizar el almidón nativo extraído de las cuatro variedades de mashua, evaluar sus propiedades morfológicas y funcionales para conocer las características o diferencias que puede haber entre estos almidones de cuatro variedades de mashua. Así como también, conocer su conversión en azúcares fermentables mediante la hidrólisis enzimática, para obtener un jarabe de glucosa que es ampliamente comercializado en la industria alimentaria, sirven como sustituto parcial o completo en productos alimenticios. Su aplicación depende del tipo de jarabe de glucosa y sus características fisicoquímicas.

Con los resultados del presente trabajo, no solo se busca dar respuesta a la falta de conocimiento relacionado a los almidones de mashua sino también darle una mayor viabilidad y valor agregado a la mashua.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Describir las características biométricas, propiedades fisicoquímicas de los tubérculos y las propiedades tecno-funcionales de sus almidones de cuatro variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), y su aptitud para obtener jarabe de glucosa mediante hidrólisis enzimática.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el diámetro mayor, longitud, peso, forma del tubérculo, profundidad de ojos, color predominante y secundario de la pulpa y cáscara de las variedades de mashua *Amarilla*, *Negra*, “*Lagrima de Cristo*” y “*Ojo de paloma*”.
- Describir los almidones nativos extraídos de las cuatro variedades de mashua en cuanto a su morfología, tamaño del gránulo, temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua y poder de hinchamiento.
- Estimar la aptitud de conversión a jarabe de glucosa de los almidones de tres variedades de mashua con mayor rendimiento de extracción por medio de hidrólisis enzimática empleando alfa-amilasa y glucoamilasa.

1.5 PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

Los almidones de las cuatro variedades de mashua presentan buenas aptitudes y características para la conversión en jarabe de glucosa, así para poder ser aplicados de forma agroindustrial

1.6 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

- Se debió considerar la estación de la materia prima en donde, sus meses de cosecha son en meses de junio y julio, y la investigación del presente trabajo se realizó en septiembre.
- No se obtuvo un considerable rendimiento de extracción de las variedades de mashua estudiadas, para poder emplear más estudios en la parte de hidrólisis enzimáticas.

CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Pacheco *et al.* (2019), en su artículo “Morphological, technological and nutritional properties of flours and starches from mashua (*Tropaeolum tuberosum*) and melloco (*Ullucus tuberosus*) cultivated in Ecuador”, analizaron las propiedades morfológicas, tecnológicas y nutricionales de harinas y almidones, de mashua y melloco (tubérculos andinos) para determinar posibles aplicaciones industriales. Se analizó la morfología y propiedades de partícula (forma, tamaño del grano y distribución de partícula), estabilidad de almidones en medio acuoso (sedimentación, potencial zeta y curva de flujo en frío), comportamiento del almidón en calentamiento (viscosidad, calorimetría diferencial de barrido y análisis termogravimétrico), propiedades nutricionales (contenido de almidón disponible, tasa de digestión de almidón, almidón resistente y almidón resistente retrogrado). El almidón de mashua presentó tres formas de partículas: esférica pequeña, esférica truncada y elipsoidal truncada grande. Los almidones de mashua y melloco tenían un alto potencial zeta y valores bajos de sedimentación. Además, presentaron una viscosidad mucho mayor que el almidón de papa; esto se debe, a su mayor tamaño promedio de partícula y mayor contenido de amilosa. Se concluye que los almidones de mashua y melloco podrían ser agentes espesantes o gelificantes excelentes tanto para alimentos como para biomateriales.

Velásquez *et al.* (2021), en su artículo “Relationships among molecular, physicochemical and digestibility characteristics of Andean tuber starches”, determinaron las características fisicoquímicas, térmicas, pastosas, digestibilidad y moleculares de almidones nativos, como mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. y P.), oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) y olluco (*Ullucus tuberosus* C.). El almidón de mashua presentó menor tamaño que los almidones de oca y olluco. Además, los gránulos de almidón de mashua presentaron forma redonda, mientras que los de oca y olluco, forma elipsoidal. Los almidones de mashua y olluco exhibieron los

valores de entalpía más bajos y mayores valores de temperatura de gelatinización de 61.02°C y 60.80 °C respectivamente en comparación con la oca. La amilopectina de olluco exhibió una longitud de cadena más larga que los almidones de mashua y oca. Se concluye que los tubérculos andinos son una alternativa para la obtención de almidón con características fisicoquímicas, funcionales y digestibilidades específicas.

Guevara-Freire y Coello-Fiallos (2021), en su artículo “Análisis morfométrico de harina, almidón y proteína de *Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón”, realizaron un estudio de características morfológicas del almidón, harina y proteína de cuatro variedades de mashua. Gracias al microscopio electrónico de barrido (MEB), los gránulos de sus almidones presentaron tamaños desde 7 µm a 18 µm, mayormente se observaron formas ovaladas y esféricas.

Cutrim Farias *et al.* (2020), en su artículo “Structural and physicochemical characteristics of taioba starch in comparison with cassava starch and its potential for ethanol production”, evaluaron las características estructurales, fisicoquímicas, su potencial en la hidrólisis enzimática y fermentación del almidón de taioba (*Xanthosoma sagittifolium*) comparando con el almidón de yuca (*Manihot esculenta*). El contenido de amilosa en la taioba y la yuca fue de 21,80 y 23,65 % (PS), respectivamente. El almidón de taioba presentó tamaños de gránulos más pequeños, cristales más densos y ordenados que el almidón de yuca. La hidrólisis enzimática (licuefacción y sacarificación) alcanzó 52 % y 50 % equivalente dextrosa después de 24 h, para yuca y taioba respectivamente. En conclusión, el almidón de taioba presentó características significativamente diferentes del almidón de yuca, sin embargo, puede ser utilizado para la producción de etanol por su desempeño parecido al almidón de yuca.

Martínez *et al.* (2019), en su artículo “Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region”,

evaluaron las propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcional de los almidones de 3 papa nativas del Perú. Se analizó la composición química, parametro de color, digestibilidad del almidón, así también, como morfología y tamaño del granulo. Se analizó la claridad y perfil de las pastas de almidon. El tamaño promedio del granulo de almidón de la papa Locka fue de 11.2 a 51.8 μm , el de Imilla blanca fue de 12.7 a 272 μm y el de Imilla negra, 12.7 a 58.9 μm . La temperatura de gelatinización en promedio para la Imilla negra, Imilla blanca y Locka es de 62.4 °C, 63.1°C y 60.2°C respectivamente. El almidón de Imilla negra presentó mayor contenido de amilosa, viscosidad máxima, contenido de fósforo y claridad de pasta, a aparte también presentó una fracción de almidón resistente (RS) mayor que los otros almidones estudiados. En conclusión, el almidon de Imilla negra presentó un potencial como ingrediente funcional en la industria alimentaria.

Quispe Ruiz (2018), en su tesis “Características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) de las variedades *Amarilla* y *Negra*”, se estudió las propiedades químicas y funcionales de almidones de mashua variedades *Amarilla* y *Negra* cultivadas en la región de Apurímac. El almidón de mashua *Negra* presentó mayor contenido de amilosa (24.16%) que la variedad *Amarilla* (23.58%). La tempertura de gelatinización de la variedad *Amarilla* (63.40 °C) es superior a la variedad *Negra* (59.57 °C). El almidón de mashua *Negra* presentó mayor valor de índice de absorción de agua (28.73 g gel/g), índice de solubilidad de agua (18.02 %) y poder de hinchamiento (39.51%) que la variedad *Amarilla*. Se concluye que sus almidones presentaron bajo contenido de amilosa y amilopectina, siendo altamente solubles, viscosos y tienen la característica de agrandar su tamaño en el exceso de agua.

Huanca López (2017), en su tesis “Determinación de la relacion entre estructura y rendimiento de jarabe de glucosa a partir de almidón extraído de diferentes tubérculos del departamento de La Paz”, analizó si hay relación entre las caractersticas del tamaño del granulo,

contenido de amilosa y amilopectina de los almidones extraídos de diferentes tubérculos como la papa *Negra*, la tunta, el chuño, la oca, la caya *Blanca*, la caya *Negra*, la papa lisa, el isaño *Amarillo* y el isaño *Negro* del departamento de La Paz, con respecto al rendimiento de obtención de jarabe de glucosa. El contenido de amilosa del almidón de isaño *Amarillo* es de 7.6 % y el isaño *Negro* 28.6 %. Los resultados de la morfología del granulo de almidón por microscopia optica para el isaño *Amarillo* son forma esferica, para el isaño *Negro*, esferica y elíptica truncada. La cruz de malta en los almidones de isaño es puntual centrico. El porcentaje de glucosa total en el jarabe a partir del almidón de isaño es 59.5 % GT y el isaño negro 85.2 % GT, el equivalente de dextrosa correspondiente es para el isaño *Amarillo* 46.2 DE y el isaño *Negro* 61.2 DE. Se concluye que el almidón de isaño *Negro* (*mashua Negra*) presentó mayor contenido de amilosa a comparación de las otras muestras, con respecto al jarabe de glucosa, se obtuvo un jarabe de alta calidad tipo III.

Ega (2023), en su artículo “Enzymatic liquification pattern of superior sweet potato starch of CIP-type”, se estudió el patrón de cambios de sacaridos del camote tipo CIP-1, CIP-2 y CIP-5 como sustrato al 30% a una temperatura de 85° C y concentración de 0.07% de alfa-amilasa durante el proceso de licuefacción de 255 min. Las variables observadas fueron azucares reductores para determinar el valor de DE, nivel de dextrina, amilosa, amilopectina, maltosa, maltotriosa, glucosa, polisacaridos y la viscosidad de la solución. Se realizó un Diseño Completamente al Azar con dos repeticiones. Terminando el tiempo de licuefacción, se obtuvo como DE para CIP-1: 30.53 %, CIP-2: 27,78% y CIP-5: 25.90%. El nivel maltotriosa final para el CIP-1: 18.70%, CIP-2: 16.66%, CIP-5: 13.02%, mientras que los niveles de maltosa obtenidos son para CIP-1: 16.28%, CIP-2: 14.73% y CIP-5: 13.02%. Se concluye que los parametros de licuefacción presentaron mayores rendimientos para el almidón de camote del CIP-1, asi como tambien, se clasifica como apto los tres almidones de camote para la sacarificación.

3.2 BASES TEÓRICAS

3.2.1 Mashua

La mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) es una planta herbácea perteneciente a la familia de las tropeoláceas (*Tropaeolaceae*) (Temoche *et al.*, 2004), por su alto valor nutricional y cultural es importante para la región andina. El cultivo de la mashua se distribuye desde Colombia hasta la zona norte de Argentina, se puede encontrar algunos cultivos desde hace años en algunas partes de Nueva Zelanda y Canadá, gran cantidad de su cultivo está centrado en los andes Bolivia y Perú (Manrique *et al.*, 2014). Este tubérculo crece entre los 2800 y 4000 msnm. Junto a la papa, oca y olluco son la mayor área de siembra en el Ande.

Se ha reflejado en la cerámica antigua, cuya primera evidencia se encuentra en los sedimentos de la cueva de Huachumachay en el valle de Jauja en la región de Junín en Perú, que datan aproximadamente del 650-1350 d.C., además de la cultura Nazcas con data 1000 años d. C. hay un registro arqueológico de mashua en pinturas de cerámicas lo que señalaría su domesticación tardía (Grau, *et al.*, 2003).

Mashua tiene diferentes nombres comunes: "mashua, mashwa, masua (Perú, Ecuador), isaño, año (Perú, Bolivia), maswallo, mazuko, mascho apiña-mama (Perú); cubio, navo, navios (Colombia); Okakisanu (Bolivia) (Surco Laos, 2004; Grau *et al.*, 2003; Chacón Sanabria, 1960; Manrique *et al.*, 2014).

Figura 1

Diseños de cerámica Nazca representan tubérculos andinos



Nota. Se observa la figura de izquierda a derecha superior: papa, olluco, oca y mashua. Fuente: Grau *et al.*, 2003.

En cuanto a las variedades de la mashua varían mucho en su coloración, se dice que en el Perú haya más de 100 variedades que se distinguen algunas por su color como "Okke-añu" (plomo), "Yurac-añu" (blanco), "Yana-añu" (negro), "Puca-añu" (rojizo), "Checchi-añu" (gris), "Ckellu-añu" "Zapallu-añu" (amarillo) y "Muru-añu" (morado) (Chacón, 1960). Gallardo (como se citó en Ordoñez, 2020) en nuestro país se tiene más de 100 variedades (desde el beige hasta el morado oscuro) que se encuentran en Apurímac, Ayacucho, Ancash, Huánuco, Junín y Puno. Su forma también es diversa, ya que existen cortamente cónicos, cónicos, alargados y cilíndricos (Moreno D., 2017).

Roca y Martínez (como se citó en Manrique *et al.*, 2014), la mashua puede crecer en suelos pobres sin el uso de fertilizantes químicos y es resistente a nematodos, insectos y diversas plagas como el gorgojo de la patata. Por eso se suelen plantar como vallas para proteger otros cultivos. Este tubérculo no ha sido tan importante como otros, esto debido a que su cultivo es limitado por su sabor y olor característico. (Chacón, 1960). Por otro lado, debemos saber que proporciona una fuente de alimento para más de 9 millones de personas que viven en los Andes,

ocupando el cuarto lugar, después de la papa, entre los tubérculos más importantes de esta región (Cabrera *et al.*, 2020).

Es un tubérculo importante ya que, presenta un alto contenido de carbohidratos, proteínas y además, presenta compuestos bioactivos. En la Tabla 1, se muestra la composición proximal de la mashua frente a otros tubérculos andinos, realizando una comparación de su valor nutricional.

Tabla 1

Composición proximal de tubérculos andinos

	Tubérculos andinos			
	Arracacha	Oca	Mashua	Olluco
Humedad (%)	-	14	-	7.8
Proteína (%)	0.7	0.52	4.2	8.5
Carbohidratos (%)	86	90.5	78	64.96
Fibra (%)	1.1	-	6.8	1.4
Minerales	calcio	calcio y hierro	-	-
Vitaminas	Vit. A	-	Vit. C	Vit. C

Nota: Datos tomados de Sanchez *et al.* (2023).

La importancia de la mashua ha ido creciendo ya que se ha demostrado que tiene muchas propiedades nutraceuticas y funcionales, por poseer un contenido alto en compuestos fenolicos, carotenoides y antocianinas, con capacidad antioxidante en comparación de otros tubérculos, como la papa, oca y olluco (Campos *et al.*, 2006). Además, poseen alto contenido en vitamina C en 100g de mashua existe el doble que tendría una naranja. Cabrera *et al.* (2020) nos menciona que la mashua es alta en nutrientes y baja en calorías; contiene altas cantidades de glucosinolatos e isotiocianatos, compuestos que tienen propiedades antibióticas, diuréticas y anticancerígenas. También se dice que la mashua posee ciertas propiedades medicinales o curativas, como actuar contra la inflamación de la próstata; además de inhibir la capacidad

sexual, en la antigüedad era usado para aplacar el deseo de quienes integraban los ejércitos cuando iban a la guerra. Se considera un antibiótico para problemas renales y hepáticos, puede combatir bacterias como *E. coli* y *Staphylococcus*, hongos como *Candida albicans* e incluso es eficaz contra trastornos genitourinarios y anemia. Es fuente de carbohidratos, proporcionando energía al cuerpo.

3.2.2 Almidón

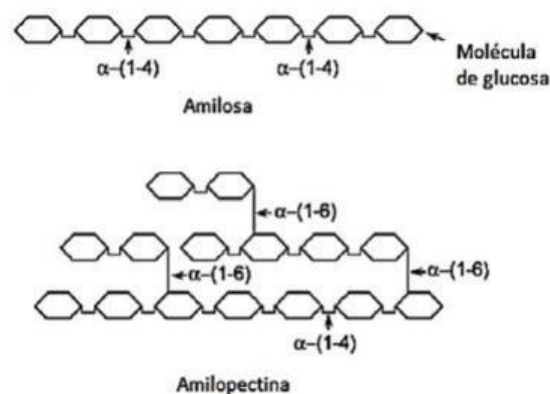
El almidón es uno de los productos vegetales más importantes para el ser humano. Es un polisacárido vegetal que se almacena en las raíces, tubérculos y semillas de plantas y cereales y también puede hidrolizarse en glucosa para proporcionar energía. (Madrigal *et al.*, 2007). Según Pérez Acero (2000), el almidón constituye para el hombre una fuente de energía esencial. En la actualidad, se ha extendido sus usos para la industria de alimentos siendo un aditivo o materia prima para algún compuesto de alimentos, por sus características nutricionales, funciones y sus bondades como un espesante y estabilizante de suspensiones y dispersiones. Teniendo en cuenta que las plantas han estado en abundancia y acompañando la alimentación del hombre. Estos usos aumentaron con el surgimiento de la industria de alimentos procesados y la disponibilidad del almidón puro, lo que lo convirtió en uno de los carbohidratos más importantes y lo hizo muy importante en el comercio (Cobana y Antezana, 2007).

Los amiloplastos, que incluyen gránulos de almidón simples o compuestos, se componen de capas concéntricas o excéntricas de densidad variable. Los experimentos con difracción de rayos X han demostrado que tienen un aspecto semicristalino, lo que indica que las moléculas de glucano tienen un grado bastante alto de orientación. Considerando que el 70% de la masa de un almidón es amorfo, gran cantidad de amilosa principalmente, y 30% como cristalino, en su mayoría amilopectina (Chen *et al.*, 1998).

En cuanto a su estructura, según Hernández *et al.* (2008) Como ya mencionamos, se compone de dos polisacáridos diferentes químicamente, amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de aproximadamente cuatro unidades de glucosa conectadas por enlaces alfa (1-4) y algunos otros alfa (1-6). Esta molécula no se disuelve en agua, pero tienen la capacidad de formar micelas hidratadas ya que tienen capacidad de juntar moléculas por puentes de hidrógeno, de esta manera forman estructuras helicoidales desarrollando un color azul al contacto con el yodo (Knutzon & Grove, 1994). Por otro lado, la amilopectina es un polímero ramificado con aproximadamente el 94-96% de sus unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4) y el 4-6% por enlaces α (1-6). Estas ramas se producen una cada 15-25 unidades de glucosa. A diferencia de la amilosa, la amilopectina es escasamente soluble en agua caliente y produce un color púrpura rojizo en presencia de yodo. (Guan y Hanna, 2004). A continuación se muestran los enlaces de amilosa y amilopectina que es propia de los almidones.

Figura 2

Estructura de amilosa y amilopectina



Nota. Representación de enlaces alfa 1-4 y alfa 1-6. Fuente: Quezada et al, 2017.

3.2.3 Glucosa

La glucosa es el carbohidrato y compuesto orgánico más común (en todas sus formas combinadas). Estos últimos consisten en moléculas de carbohidratos que no se pueden descomponer en moléculas de carbohidratos más simples mediante hidrólisis, por lo que se les conoce como azúcares simples. Pueden unirse para conformar más grandes estructuras, como los oligosacáridos y polisacáridos pudiendo convertirse en monosacáridos por la hidrólisis. La glucosa, es también llamada dextrosa, está dentro del grupo de carbohidratos que son azúcares simples, tiene la forma molecular de $C_6H_{12}O_6$. Está presente en frutas y miel, siendo el principal azúcar libre que transita por la sangre de los animales superiores. En el funcionamiento celular es la fuente de energía, por ende, es de gran importancia la regulación de su metabolismo, glucogénesis. Las moléculas de almidón constan de miles de unidades de glucosa, siendo el carbohidrato de reserva de animales vertebrados e invertebrados, además de hongos y protozoos. Este carbohidrato es fácilmente soluble en agua en forma de polvo. Debajo de los 50 °C este α -D-glucosa es estable, a los 50 °C se obtiene de forma anhidra y a temperaturas más altas se obtiene α -D-glucosa. Está presente en nuestra dieta en forma de: sacarosa (glucosa y fructosa), lactosa (glucosa y galactosa) y maltosa (glucosa). Es un polialcohol y un aldehído, dentro de su clasificación es una aldosa. (Shendurse & Khedkar, 2016).

3.2.4 Enzimas amilolíticas

Las enzimas microbianas son perfectas para procesos y aplicaciones industriales, ya que son fáciles de aislar y pueden a un corto plazo generar grandes cantidades, teniendo un costo de producción bajo y son estables a situaciones extremas (Gopinath *et al.*, 2017).

Las enzimas amilolíticas son catalizadores bioquímicos en la hidrólisis del almidón, son uno de los principales productos de la biotecnología en microbios. Por ejemplo, son las amilasas, enzimas de bastante interés industrial ya que cuentan con una variedad de aplicaciones en la

industria como la papelería, textilera y sobre todo los alimentos, entre otras (Gupta *et al.*, 2003). Las tres principales son la alfa amilasa, glucoamilasa y pululanasa, son producidas por microorganismos que vienen de diferentes taxas y géneros. Las cepas que han sido aisladas de entornos abundantes en almidón tendrán mayor actividad enzimática que las que fueron aisladas en medios pobres. Se tiene que tomar en cuenta en los procesos de fermentación, condiciones como pH, temperatura y nutrientes también afectarán la tasa de producción enzimática (Gopinath *et al.*, 2017).

3.2.5 Hidrólisis enzimática

La hidrólisis del almidón es el comienzo para la obtención de azúcares para la fermentación. Puede ser ácido o enzimático, constando este último de dos etapas: licuefacción y sacarificación. (Monsalve *et al.*, 2006).

La hidrólisis enzimática utiliza dos enzimas para quebrantar las moléculas de almidón hasta obtener glucosa: Las amilasas y las amiloglucosidasas (AMG) (Castaño *et al.*, 2011).

En la primera etapa de licuefacción, el almidón, compuesto por enlaces glucosídicos de tipo $\alpha - (1 \rightarrow 4)$ siendo enlaces lineales junto con ramificaciones en la fracción de amilopectina de enlace tipo $\alpha - (1 \rightarrow 6)$ glucosídico, los gránulos que están en el almidón son atacados por la α -amilasa. Tomando en cuenta que en la industria se necesita disolver el almidón en polvo con agua fría y se adiciona la enzima cuando la temperatura es la óptima, se realiza inyectando vapor a alta presión a la solución, iniciando la hidrólisis. La alfa amilasa es muy estable ya que proviene de bacterias por lo que es apta para la industria, hidrolizando los enlaces $\alpha - (1 \rightarrow 4)$. La alfa amilasa ataca entonces los enlaces internos mucho más rápido que las que son terminales. Esta enzima se utiliza por dos razones. La primera razón es que, al cortar las cadenas de almidón, no se formarán geles si la temperatura disminuye. La segunda razón es que es el proceso intermedio que luego produce las cadenas terminales de glucoamilasa. (Holik,

2005). En esta etapa el almidón se convierte en dextrinas y usualmente tarda un tiempo 2 horas. Mientras que en la segunda etapa de sacarificación se usan las AMG, enzimas que dan paso a la hidrólisis de las dextrinas, maltosa y luego empiezan a liberar glucosa; su temperatura óptima es de 60 °C a 75 °C (Meléndez, 2002). En los últimos años la hidrólisis enzimática ha ido desplazando ala ácida ya que se van disponiendo de nuevas enzimas (Badui, 2006).

3.2.6 Jarabe de glucosa

El jarabe de glucosa es el producto de la hidrólisis de almidón y son mezclas de polímeros de D-glucosa. En la industria se usan de acuerdo con sus concentraciones y pueden ser empleados en la panadería, confitería, procesado de frutas, alimentos compuestos, bebidas alcohólicas, bebidas frías, etc. Según Navarro G. (2019) lo describen como una solución que contiene glucosa y porcentajes de maltrosa, maltotriosa, oligosacáridos, materia seca y otros. Se clasifican en 4 tipos de jarabes, según su porcentaje de equivalente de dextrosa.

CAPITULO III: MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es aplicada, ya que se evaluó las características fisicoquímicas de los tubérculos, el rendimiento de extracción de almidón y las propiedades tecno-funcionales de almidones de variedades mashua, y el grado de conversión en la hidrólisis enzimática de los tres almidones de mashua con mayor rendimiento de extracción. El nivel de investigación es descriptivo, debido a que se relacionan y se miden los resultados obtenidos en los estudios de la caracterización de materia prima y almidones extraídos de las variedades de mashua. También se explicó el efecto de las variedades de mashua de mayor rendimiento de extracción en la obtención de jarabe de glucosa.

3.2. LUGAR DE EJECUCIÓN

La extracción de los almidones se realizó en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo y, se continuó el proceso experimental en el Laboratorio de Química Analítica de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial en el distrito de San Juan de Lurigancho.





3.3 MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1 Materia prima

Constituido por cuatro variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) procedentes del distrito de Hualhuas de la provincia de Huancayo, Junín. El tamaño de muestra empleado fue de 5 kg de cada variedad. Se eligió tres variedades con mayor rendimiento de extracción de almidón para realizar la hidrólisis enzimática con las enzimas alfa-amilasa y glucoamilasa. Las variedades de mashua estudiadas se muestran en la siguiente Figura 3 según su apariencia:

Figura 3

Cuatro variedades de mashua estudiadas

N°	Variedades de mashua	Nombre coloquial
1		<i>Mashua Amarilla</i>
2		<i>Mashua Negra</i>
3		<i>Mashua "Lagrima de Cristo"</i>
4		<i>Mashua "Ojo de paloma"</i>

Nota. Variedades de mashua recolectadas del distrito de Hualhuas, Huancayo. Elaboración propia.

3.3.2 Equipos e instrumentos

- Termómetro digital
- Balanza analítica OHAUS
- Balanza industrial T-Scale
- Vernier digital
- Estufa Kert laboratory odhg-905 heating drying owen
- Plancha de calentamiento
- Licuadora industrial 20 L (2 HP)
- Microscopio óptico con objetivos de 20x, 40x y 100x
- Refractómetro
- Centrífuga ROTOFIX 32^a
- Medidor digital de pH
- Espectrofotómetro UV- visible Thermo Scientific GENESYS
- Titulación de equivalente de dextrosa compuesto por buretas de 50 ml, soporte universal, Erlenmeyer de 250 ml, rejilla y mechero a gas.

3.3.3 Reactivos químicos

- Bisulfito de sodio
- Reactivo de Fehling A y B
- Azul de metileno
- D-glucosa
- Lugol para microscopio
- Aceite de inmersión
- Enzimas amilolíticas alfa-amilasa y glucoamilasa 100000U/G de la tienda Mitú alimentaria.

3.3.4 Materiales de laboratorio y utensilios

- Vaso de precipitado de 50, 300, 500 y 600 ml
- Varilla de agitación
- Baldes de 20 L
- Colador
- Tela de organza y poliseda
- Mortero de porcelana

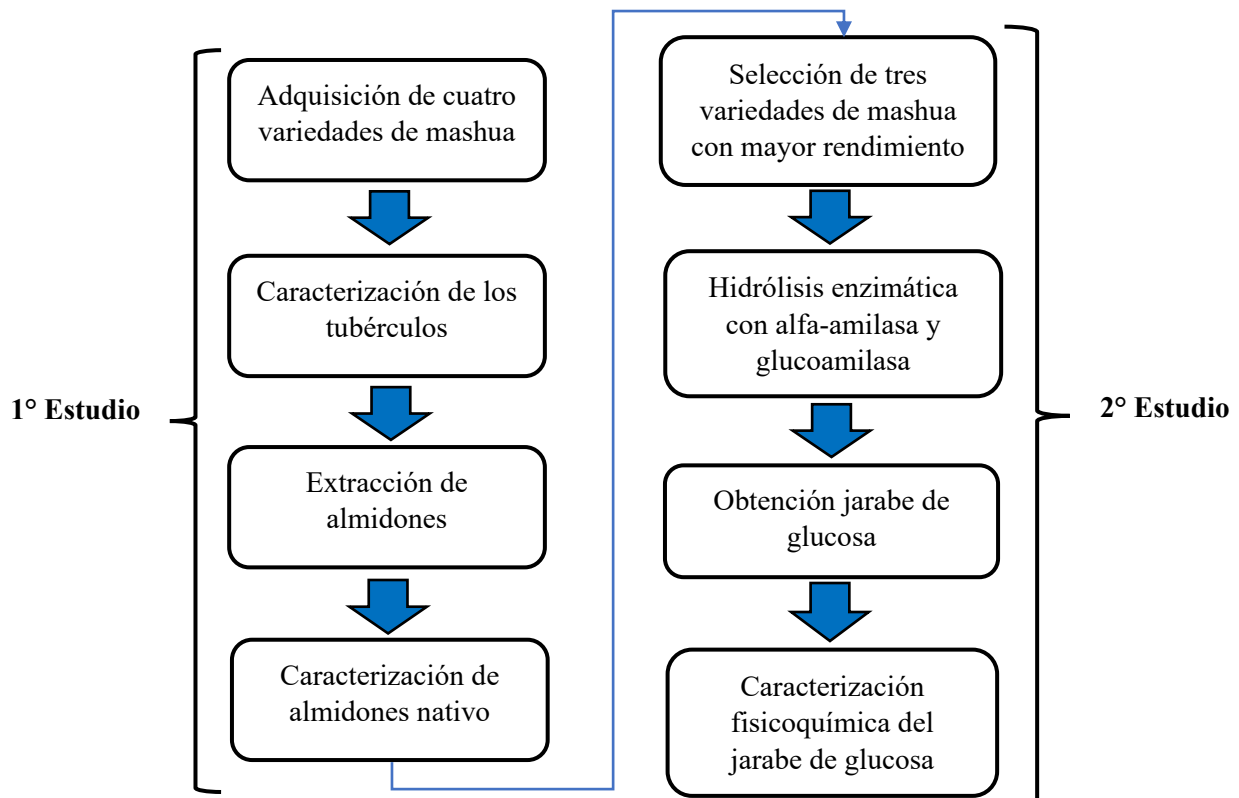
3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1 Conducción de la investigación

El esquema experimental de la investigación presenta las etapas desde la adquisición de las cuatro variedades de mashua hasta obtener jarabe de glucosa, con la determinación de las características fisicoquímicas del jarabe obtenido. (Figura 4)

Figura 4

Conducción de la investigación



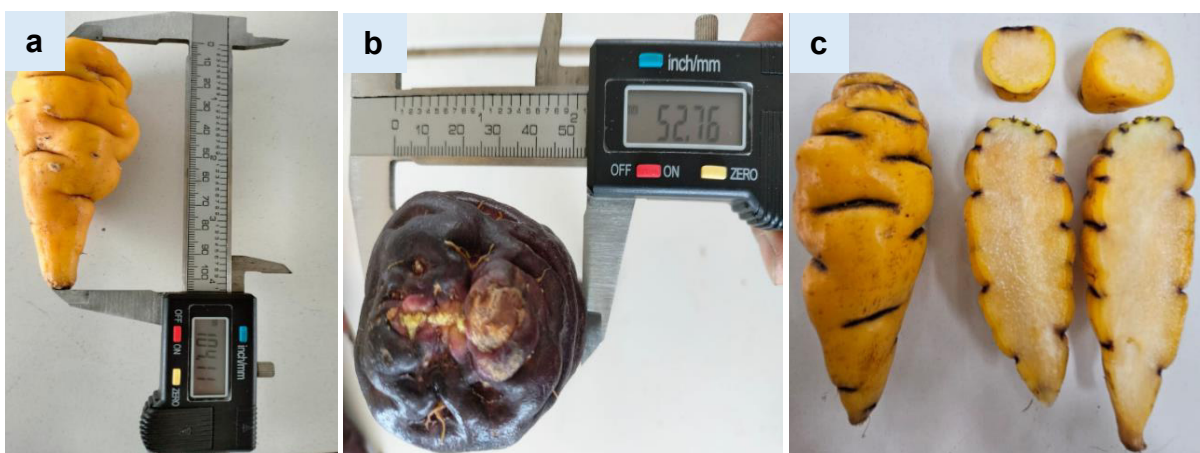
3.4.2 Evaluación biométrica de las variedades de mashua

Las cuatro variedades de mashua se evaluaron de la siguiente manera:

- Dimensiones: Se seleccionaron cinco tubérculos al azar de cada variedad de mashua para medir la longitud y diámetro mayor (mm) mediante un vernier digital.
- Peso: Se seleccionaron cinco tubérculos al azar para determinar el peso mediante una balanza digital con precisión de 0.01 g.
- Características morfológicas según el método descriptor del CIP del catálogo de *Tropaelum tuberosum* Ruíz & Pav: Se seleccionaron 5 unidades al azar de cada variedad de mashua para determinar la forma del tubérculo, color predominante de la superficie del tubérculo, color secundario de la superficie del tubérculo, color predominante de la pulpa del tubérculo, color secundario de la pulpa del tubérculo, distribución del color secundario de la pulpa de los tubérculos y profundidad de ojos de los tubérculos (Manrique *et al.*, 2014). Los colores para la cáscara y pulpa se relacionaron al catálogo del CIP.

Figura 5

Caracterización biométrica de las variedades de mashua



Nota. (a) Medición de longitud, (b) Medición de diámetro mayor, (c) Corte transversal y horizontal.

3.4.3 Propiedades fisicoquímicas de las variedades de mashua

- Sólidos solubles: Se realizó por el método de refractometría AOAC 931.12 (2005). Se expresa en grado Brix, en donde indica la concentración de sacarosa disuelta en una solución pura a una temperatura ambiente de 20 °C, de lo contrario se debe utilizar las tablas de corrección. Se determinó mediante un refractómetro manual de 0 – 32 °Brix, el cual mide la refracción de la luz en una sustancia. Se verificó previamente con una gota de agua destilada en el prisma para observar que la lectura resultante sea 0° Brix.
- pH: Se utilizó un medidor digital de pH, previamente calibrado con soluciones buffer pH = 4.00, pH=6.86 y 9.18. Se determinó el pH de la muestra acondicionada en un vaso, se observó que la lectura se estabilice y se anotó el valor. La medida del pH indica la concentración de iones hidronio [H³ O⁺] presente en determinada sustancia.
- Humedad: Se empleó el método AOAC 925.10 (2005) para la determinación del porcentaje de humedad en base a la pérdida de agua por el método de secado mediante la estufa, el análisis se realizó por triplicado. Se pesaron aproximadamente 5 g de rodajas de 3 mm de espesor por muestra en una placa Petri a una temperatura constante de 105°C durante 7 h. Pasado el tiempo, se llevaron al desecador durante 10 min para ser finalmente pesados. Se realizó el cálculo de porcentaje de humedad mediante la siguiente formula:

$$\%H = \frac{M1 - M2}{M1 - Pp} \times 100$$

Donde:

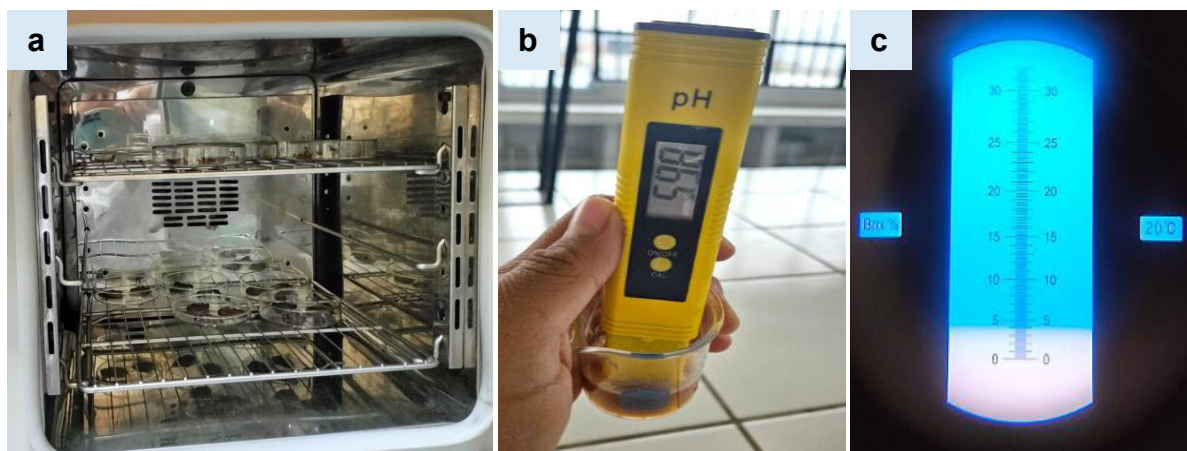
M1 = Peso inicial de la muestra húmeda más peso de la placa Petri en gramos.

M2 = Peso final de la muestra seca más peso de la placa Petri en gramos.

Pp = Peso de la placa Petri en gramos.

Figura 6

Análisis fisicoquímico de las variedades de mashua



Nota. (a) Determinación de humedad, (b) Determinación de pH, (c) Grado Brix según el método del refractómetro.

3.4.4 Observación microscópica de amiloplastos de las variedades de mashua

Se llevaron al microscopio los tejidos de las cuatro variedades de mashua para observar el tamaño y cantidad de los amiloplastos presentes.

- Corte: Se partieron por la mitad las cuatro variedades de mashua en una tabla de picar.
- Raspado: Con ayuda de una hoja de afeitar, se realizó un raspado y se colocó en ambos lados extremos del portaobjetos. Al de lado derecho, se le añadió una gota de Lugol antes de colocar el cubreobjetos y al lado izquierdo, se le añadió una gota de agua destilada.
- Observación: Finalmente, se llevó al microscopio con los objetivos 10x, 20x, 40x y 100x.

3.4.5 Extracción de almidón

Se realizó según la metodología de Peña (2017), basado también en Guevara y Coello (2021) con modificaciones. El proceso de extracción de las cuatro variedades de mashua se realizó según las siguientes etapas:

- **Selección y pesado:** Para la extracción de almidón, se recibieron las cuatro variedades de mashua, se seleccionaron las que no presentaron daño físico, luego, se pesaron 5 kg de muestra por cada variedad.
- **Lavado y desinfección:** Las cuatro variedades fueron lavadas y cepilladas con ayuda de unas escobillas para quitar toda impureza. Después, se desinfectó a 25 ppm con hipoclorito de sodio durante 5 min y se enjuagó.
- **Pelado:** Se realizó un pelado manual con ayuda de peladores, se quitó la cáscara de las variedades de mashua.
- **Inmersión:** Después, se colocó en baldes en proporción 1:4 de la solución de bisulfito de sodio al 1% durante 15 min.
- **Primer licuado:** Se procedió a licuar en dos partes durante 3 min resultando que la partícula de la torta residual esté en 0.37-0.35 mm con una licuadora industrial de 2 HP.
- **Filtración 1:** La suspensión resultante se filtró con una tela de organza, la torta residual que contenía fibra y almidón se colocó de nuevo en la licuadora industrial.
- **Segundo licuado:** Se volvió a licuar la torta residual con 5 L de agua bisulfatada durante 5 min resultando el tamaño de partícula entre 0.27-0.25 mm.
- **Filtración 2:** Primero, se filtró la suspensión resultante con tela de organza, la torta residual se colocó en una bandeja de acero para luego ser llevado a la estufa. Segundo, el líquido resultante se volvió a filtrar con tela poliseda para eliminar la fibra y pulpa de menor diámetro.
- **Sedimentación:** Los líquidos resultantes se llevaron a baldes de 20 L por separado. Se dejó sedimentar en un refrigerador a 8,5°C durante 15 h.
- **Decantación:** Pasado el tiempo se observó la separación y se decantó el líquido excedente.

- **Lavado 1:** Se procedió a lavar tres veces el almidón, lo que quiere decir, quitar el líquido dejar el sedimento, llenar de agua y mover, dejar sedimentar nuevamente y repetir el proceso.
- **Centrifugación:** Se llevó a centrifugar durante 5 min a 3000 rpm, se separó el líquido y el residuo vegetal, con ayuda de una cucharilla y una piseta con agua destilada, se retiró el almidón.
- **Lavado 2:** Se suspendió el almidón obtenido en agua destilada para agitarlo (lavarlo).
- **Filtración 3:** Luego, se filtró con tela poliseda para retirar los últimos restos de impurezas y se dejó reposar en vasos precipitados.
- **Decantación:** Se decantó el sobrenadante, para verter el precipitado en bandejas y posteriormente llevarlo a secar.
- **Secado:** Se secó en bandejas de acero inoxidable en la estufa durante 8 h a 45 °C.
- **Molienda:** El almidón obtenido debe tener un porcentaje de humedad entre 8.30-10.50%, luego se llevó a un mortero de porcelana para uniformizar la partícula.
- **Pesado y envasado:** Finalmente se llevó a pesar en una placa Petri y se almacenó en bolsas de polietileno a -23°C.

Figura 7

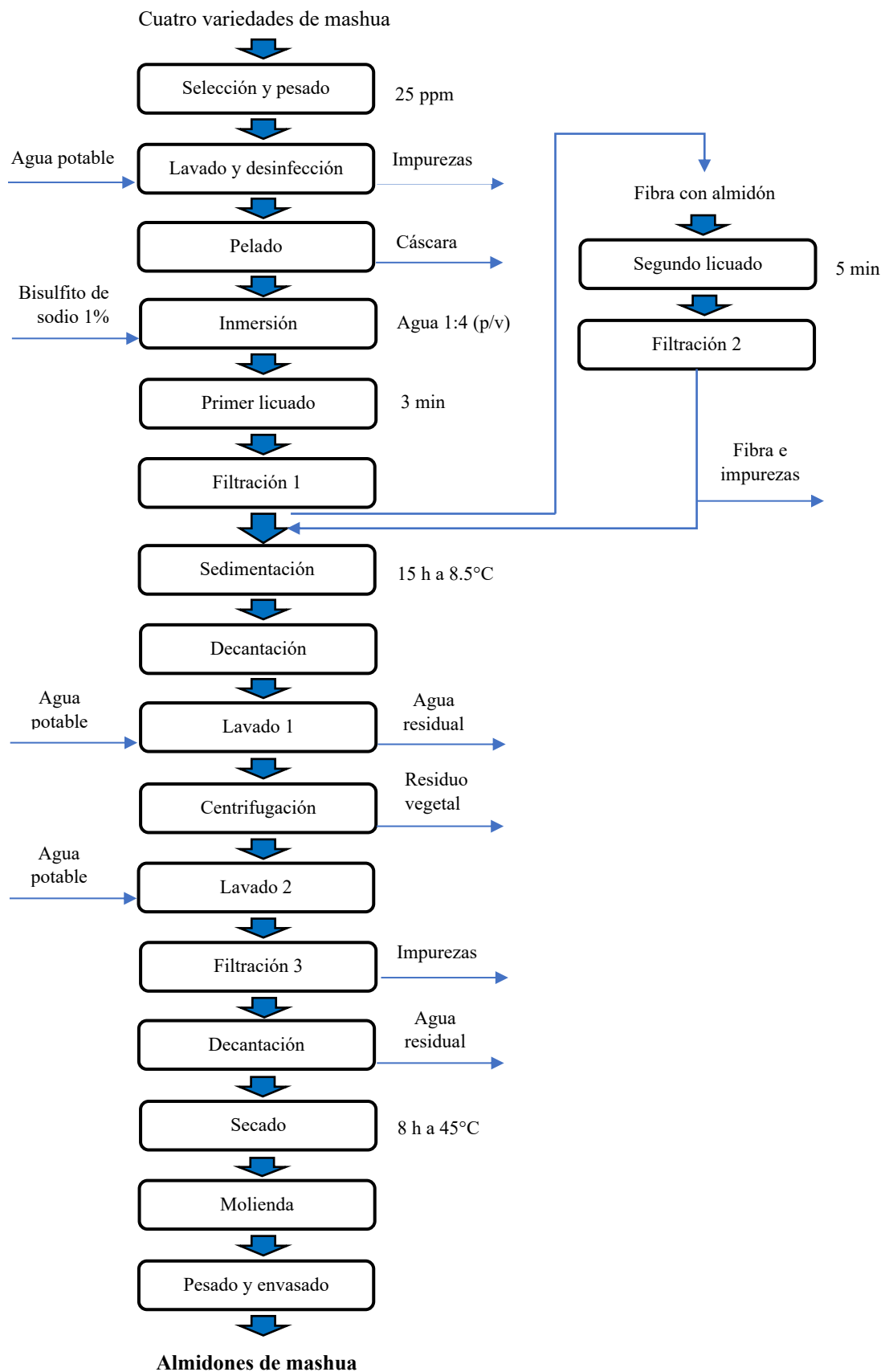
Proceso de extracción de almidón



Nota. (a) Centrifugación, (b) Almidón en bandejas de acero para secado.

Figura 8

Flujograma del proceso de extracción de almidones de mashua



3.4.6 Propiedades funcionales del almidón

Se determinaron las siguientes propiedades tecno-funcionales de los almidones extraídos de las cuatro variedades de mashua:

a. Temperatura de gelatinización

Se realizó según la metodología propuesta por Grace (1977) citado por Quispe Ruiz (2018) con modificaciones.

Procedimiento:

- Se pesó 1.2 g de almidón de las cuatro variedades de mashua, se disolvió en 20 ml de agua destilada en un vaso precipitado de 50 ml.
- Se calentó el agua del baño maría a una temperatura de 70.5 °C.
- Luego, se introdujo el vaso precipitado de 50 ml con la solución en el baño maría.
- Se agitó con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se formó una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos.
- Finalmente, se procedió a tomar la lectura de la temperatura de gelatinización.

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

Se realizó según la metodología descrita por Anderson *et al.* (1969) con las modificaciones de Quispe Ruiz (2018).

Procedimiento:

- Primero, pesar los tubos de centrifuga secos a 60 °C.
- Se pesó 0.1 g de almidón de las cuatro variedades de mashua en el tubo de centrifuga y se agregó 10 ml de agua destilada precalentada a 60°C. Se procedió agitar (sin excederse).

- Los tubos de centrifuga con las muestras se colocaron en el baño maría a 60 °C durante 30 min y se agitó de forma constante cada 2 min para mantener la homogeneidad.
- Terminado el tiempo, se centrifugó a temperatura ambiente a una velocidad de 3300 RPM durante 30 min (observar el resultado).
- Luego, se separó el sobrenadante (almidón soluble) con sumo cuidado para no mover gel que se deposita en parte inferior, y se pesó en la balanza analítica. Después, se pesó el tubo de centrifuga con el gel (peso del gel).
- Por último, se tomó 3 ml del sobrenadante con una pipeta, se colocó en una placa petri previamente pesado y se llevó a secar en la estufa durante 12 h a 70 °C, luego se pesó (peso soluble).
- Se realizaron los cálculos de la siguiente forma:

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)bs}}$$

$$\text{Índice de solubilidad de agua (ISA)} = \frac{\text{Peso del gel (g)} * \frac{V}{3} * 100}{\text{Peso muestra (g)bs}}$$

$$\text{Poder de hinchamiento (PH)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)bs} - \text{Peso solubles (g)}}$$

c. Sinéresis

Se realizó según la metodología descrita por Kaur *et al.* (2007) con modificaciones.

Procedimiento:

- Se prepararon soluciones de almidón al 6% con agua destilada, se colocaron en el baño maría a 70 °C durante 30 min con agitación hasta formar el gel.
- Luego, se enfriaron rápidamente hasta temperatura ambiente y se almacenaron por siete días en refrigeración a 4°C en tubos de centrifuga.

- Después de los días de almacenamiento, se centrifugaron a temperatura ambiente a una velocidad de 3300 RPM durante 15 min.
- Se pesó el agua liberada del gel de cada tubo de centrifuga.
- Para calcular la tasa de sinéresis se realiza de acuerdo con el siguiente calculo:

$$\% \text{ Sinéresis} = \left(\frac{\text{Peso de agua liberada (g)}}{\text{Peso de muestra gel (g)}} \right) \times 100$$

Figura 8

Determinación de propiedades funcionales



Nota. (a) Temperatura de gelatinización a 70.5 °C, (b) Índice de solubilidad, absorción y poder hinchamiento a 60 °C, (c) Porcentaje de sinéresis a los 7 días de almacenamiento.

3.4.7 Caracterización morfológica del gránulo de almidón

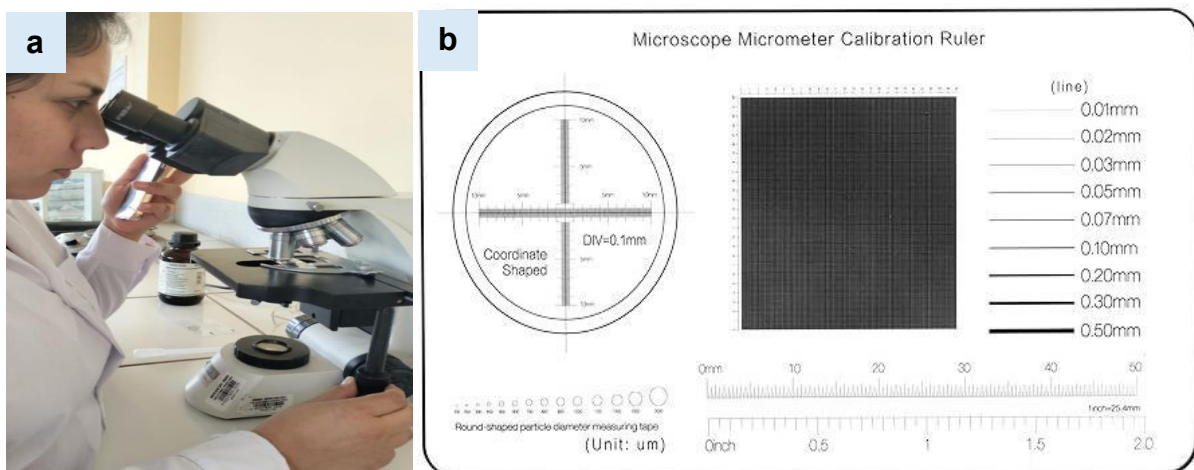
Se realiza el siguiente procedimiento para determinar el tamaño, relación de aspecto y forma del gránulo de almidón de las cuatro variedades de mashua.

- Para poder hacer la vista microscópica del gránulo de almidón, se preparó una solución al 1% en 5 ml de agua destilada.
- Se añadió en un tubo de ensayo y se agregó 1 gota de solución de reactivo de Lugol
- Agitó la muestra y con ayuda de una pipeta se puso una gota en una lámina portaobjetos
- Se colocó el cubreobjetos y se llevó al microscopio óptico con los objetivos 40x y 100x.

- Luego de ello, se tomaron tres fotografías de las cuales se realizaron mediciones de diámetro mayor y menor de 100 gránulos de almidón por fotografía de un total de 3 fotos, con ayuda del Software ImageJ.
- Antes de, se debe realizar la calibración de las imágenes para esto, se colocó una regla micrométrica de calibración en un portaobjetos para poder medir el diámetro del objetivo del microscopio.

Figura 9

Regla micrométrica de calibración



Nota. (a) Calibración del microscopio óptico, (b) regla micrométrica.

3.4.8 Hidrolisis enzimática de almidones de mashua

La hidrólisis enzimática se realizó a partir del almidón extraído de las tres variedades de mashua con mayor rendimiento de extracción mediante las enzimas alfa-amilasa y glucoamilasa, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- **Dispersión de almidón:** Se preparó una solución de almidón al 6% p/v, es decir 30 g de almidón en 500 ml de agua destilada.
- **Acondicionamiento:** Luego, se ajustó el pH a 5.96 con HCl 1N, HCl 0.1 N y NaOH 0.103 N. Se vertió la solución en un matraz de Erlenmeyer, luego se colocó sobre la

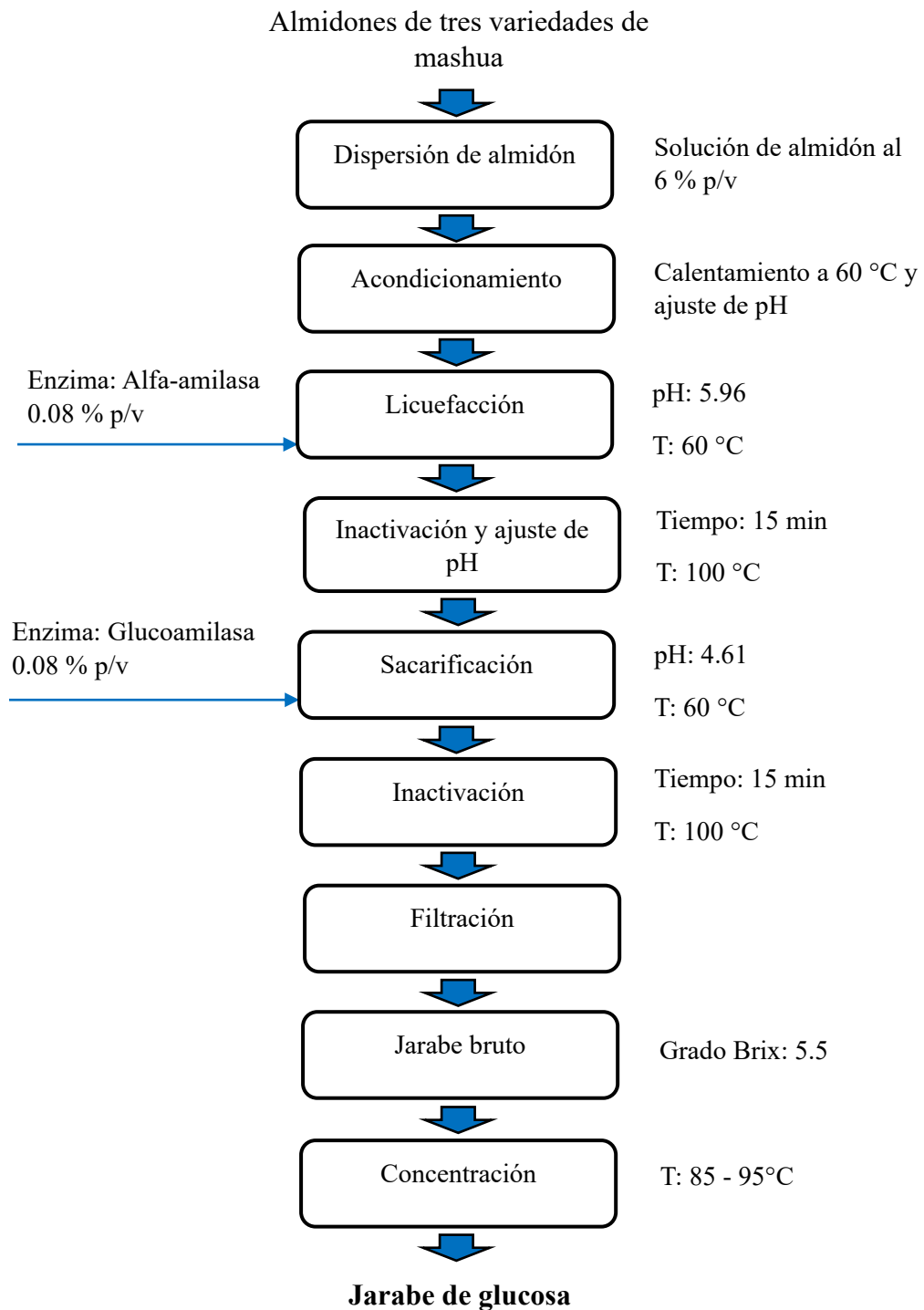
plancha eléctrica con agitador magnético cubierto con franelas para mantener la distribución uniforme del calor. Se procedió a iniciar el calentamiento y agitación hasta llegar a la temperatura de 60°C.

- **Licuefacción:** Se adicionó el 0.08% p/v de enzima alfa-amilasa, es decir 0.4 g de enzima en la dispersión de almidón en las condiciones de 60°C a pH 5.96, se mantiene en agitación constante a 820 rpm. Luego, se procedió a tomar ocho muestras de 3 ml cada 20 min durante un tiempo total de 2.4 h. Las muestras se enfriaron inmediatamente mediante un baño de hielo y luego, se diluyeron en una fiola de 100 ml, se analizaron por el método de volumétrico de Lane y Eynon.
- **Inactivación y ajuste de pH:** Transcurrido el tiempo de 2.4 h, se inactivó la enzima llevando a una temperatura de ebullición de 100°C durante 15 min. Luego, se colocó el matraz en un baño de hielo hasta temperatura ambiente y se ajustó el pH a 4.61.
- **Sacarificación:** Se adicionó el 0.08% p/v de enzima glucoamilasa, es decir 0.4 g de enzima en las condiciones de 60°C a pH 4.61, y se mantuvo en constante agitación a 320 rpm. Luego, se procedió a tomar muestras desde el tiempo 0, que es colocar la enzima y tomar muestra de 1 ml en dilución de 100 ml, se tomaron muestras cada 30 min durante 4 h, de ahí se dejó en agitación durante 14 h, para tomar la última muestra de 1 ml. Se realizó el mismo procedimiento de enfriamiento y análisis de muestras.
- **Inactivación:** Transcurrido el tiempo, se inactivó la enzima llevando a una temperatura de ebullición de 100°C durante 15 min, luego llevando el matraz a un baño de hielo hasta que estuvo en temperatura ambiente.
- **Filtración:** Se realizó con la ayuda de un papel filtro y un embudo de vidrio, para separar el material sedimentado y colorante restante.
- **Jarabe bruto:** El jarabe bruto tuvo 5.5 °Brix, y una apariencia translúcida.

- **Concentración:** Se realizó con la finalidad de aumentar el grado brix, concentrar el jarabe de glucosa a una temperatura entre 85 - 95°C en una plancha de calentamiento controlando la temperatura con el termómetro.

Figura 10

Flujograma para la obtención de jarabe de glucosa



3.4.9 Análisis fisicoquímico del jarabe de glucosa obtenido

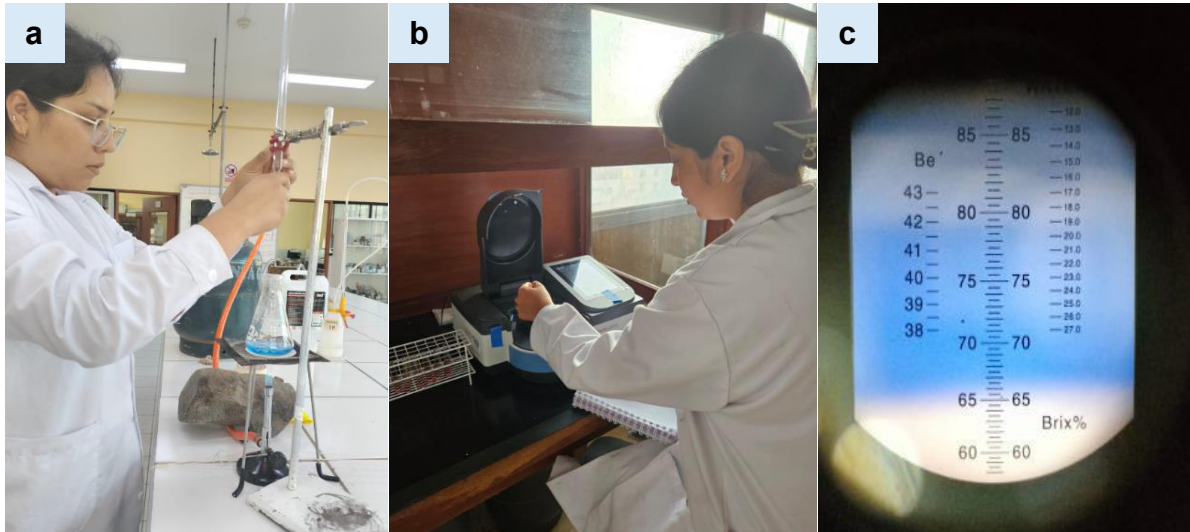
Los análisis fisicoquímicos para los tres jarabes obtenidos fueron los siguientes:

- pH: Se determinó mediante un medidor de pH digital previamente calibrado.
- Sólidos solubles (Grado °Brix): Se midió de acuerdo con el método del refractómetro, que es el contenido de sólidos disueltos en el jarabe de glucosa. Se utilizó un refractómetro con escala de 60-90°Brix.
- Dextrosa equivalente (D.E): La determinación de dextrosa equivalente se realizó según el método volumétrico de Lane y Eynon (NTP 203.OO2-1979 y NTP 208.102:2014), el cual consiste en determinar el factor de Fehling mediante un estándar d-glucosa en una solución del 6%, se tituló con 2 ml Fehling A y 2 ml Fehling B más 2 gotas del indicador de azul de metileno al 0.2% al momento de la ebullición hasta que forme el color rojo ladrillo y desaparezca completamente el color azul. Después de obtener el factor Fehling, se realizó diluciones de 1 y 3 ml en 100 ml en la etapa de licuefacción y sacarificación respectivamente. Se tituló con el mismo procedimiento anterior indicado en un máximo de 3 min.
- Concentración de glucosa (g/L): Se determinó el contenido de glucosa en el jarabe mediante el kit de glucosa oxidasa de la empresa Química Clínica Aplicada S.A. Se realizó una dilución de 1:100 ml de los tres jarabes de glucosa obtenidos, luego se tomó 30 uL de la muestra diluida de cada jarabe obtenido con dos repeticiones en tubos de ensayo. De ahí, se le agregó 3 ml del reactivo glucosa líquida (glucosa oxidasa) en los mismos tubos de ensayo con la muestra. Se agitó y se dejó reposar durante 20 min a temperatura ambiente. El mismo proceso se realizó con el estándar de glucosa de concentración de 100 mg/dL. Se llevan al espectrofotómetro a una longitud de onda de 505 nm para realizar la lectura de la absorbancia. Según el siguiente cálculo se determina la concentración de glucosa (g/L) en los jarabes obtenidos:

$$\text{Concentración de glucosa (g/L)} = \frac{\text{Abs muestra}}{\text{Abs estandar}} \times 100 \frac{\text{mg}}{\text{dL}} \times \frac{\text{dL}}{0.1\text{L}} \times \frac{1\text{g}}{10^3\text{mg}}$$

Figura 11

Determinación de características fisicoquímicas en los jarabes obtenidos



Nota. (a) Titulación volumétrica mediante Fehling Ay Fehling B, (b) Lectura de absorbancia de las muestras empleado el kit de glucosa oxidasa, (c) Determinación de grado Brix.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS

Se emplearon herramientas estadísticas descriptivas como la media, mediana, moda, confección de histogramas y gráficos de dispersión en el Excel, mientras que los resultados obtenidos de la evaluación biométrica, caracterización fisicoquímica y caracterización de los almidones extraídos de las variedades de mashua, se analizaron mediante el programa estadístico IBM SPSS versión 25. Se analizaron los datos obtenidos por el diseño completamente al azar (DCA) con factor de variedad de mashua en cuatro niveles (mashua *Amarilla*, mashua *Negra*, mashua “*Lagrima de Cristo*” y mashua “*Ojo de paloma*”), cuyo modelo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Resultados de las características fisicoquímicas de los tubérculos, propiedades funcionales de los almidones obtenidos y equivalente de dextrosa de los jarabes de glucosa de las variedades de mashua.

μ = Efecto de la media de las características fisicoquímicas de los tubérculos, propiedades funcionales de los almidones extraídos y equivalente de dextrosa de los jarabes de glucosa de las variedades de mashua.

τ_i = Es el efecto de las variedades de mashua.

ϵ_{ij} = Es el efecto del error experimental asociado a la variedad de mashua que se da en las réplicas.

Para evaluar la diferencia significativa entre grupos, se aplicó un ANOVA (Análisis de varianza) con un nivel de significancia de 5%. Luego, se realizará la prueba de Tukey para evaluar si entre las variedades de mashua hay diferencias significativas con respecto a los resultados obtenidos.

Tabla 2

Matriz de diseño experimental tipo DCA

Factor (Variedad de mashua)	Evaluación biométrica	Características fisicoquímicas	Propiedades funcionales almidones
Mashua <i>Amarilla</i>	-	-	-
Mashua <i>Negra</i>	-	-	-
Mashua “Lagrima de Cristo”	-	-	-
Mashua ““Ojo de paloma””	-	-	-

Nota. Se realiza luego una prueba de Tukey para evidenciar las diferencias entre variedades.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Evaluación biométrica de las variedades de mashua

En la Tabla 3, se encuentra la evaluación biométrica de cada variedad de mashua estudiada para conocer sobre las características particulares de cada tubérculo por más que pertenezcan a una misma especie botánica. Se observa que los valores de peso, longitud y diámetro mayor son similares entre las variedades de mashua significa que no hay diferencias significativas.

Tabla 3

Características biométricas de las variedades de mashua

Características biométricas	Variedad de mashua			
	Mashua <i>Amarilla</i>	Mashua <i>Negra</i>	Mashua “Lagrima de Cristo”	Mashua ““Ojo de paloma””
Peso (g)	55.02 ± 8.29 ^a	81.21 ± 22.55 ^a	66.31 ± 19.13 ^a	92.80 ± 28.53 ^a
Longitud (mm)	111.93 ± 18.19 ^a	113.27 ± 15.46 ^a	106.85 ± 30.26 ^a	102.84 ± 19.69 ^a
Diámetro mayor (mm)	38.88 ± 2.87 ^a	42.97 ± 6.38 ^a	37.50 ± 1.90 ^a	41.91 ± 5.39 ^a
Color predominante de la superficie de los tubérculos	Amarillo naranja	Purpura grisáceo	Amarillo naranja	Amarillo intenso
Color secundario de la superficie de los tubérculos	Ausente	Ausente	Rojo grisáceo	Purpura
Distribución del color secundario de la superficie de los tubérculos	Ausente	Ausente	Ojos y bandas irregulares	Ojos
Color predominante de la pulpa de los tubérculos	Amarillo naranja	Purpura claro	Naranja amarillento	Amarillo claro
Color secundario de la pulpa de los tubérculos	Ausente	Purpura	Ausente	Ausente
Distribución del color secundario de la pulpa de los tubérculos	Ojos y puntos densos irregularmente distribuidos	Zona cortical	Ojos y puntos densos irregularmente distribuidos	Ausente
Forma de los tubérculos	Cónico fusiforme	Cónico fusiforme	Cónico fusiforme	Cónico
Profundidad de ojos de los tubérculos	Ligeramente profundo	Profundo	Ligeramente profundo	Profundo

Nota. Medias con igual letra en la misma columna no difieren de forma significativa ($p < 0.05$). Se reportan las medias de cinco replicas \pm desviación estándar. Descriptores obtenidos del CIP del catálogo de *Tropaelum tuberosum* Ruíz & Pav (Manrique *et al.*, 2014).

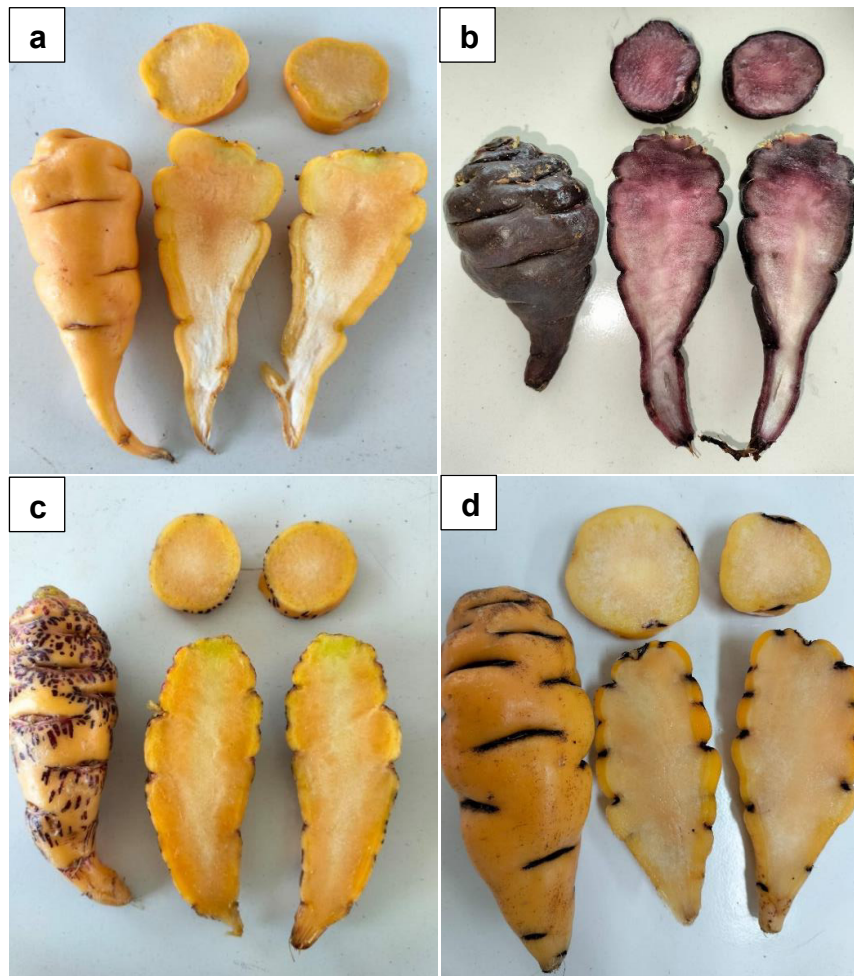
En cuanto a los valores de peso, diámetro mayor y longitud son características propias del tubérculo en donde han sido cultivados, que depende de sus condiciones geográficas, climatológicas y de cultivo (Moreno Ramirez, 2017). Es decir, las características de las variedades de mashua depende del lugar de cultivo y el tipo de suelo, ya que esto afectara directamente a su desarrollo en cuanto a sus dimensiones, forma de tubérculo y hasta la intensidad de la coloración.

Con respecto a la caracterización del color de la cascara y pulpa, las tres variedades de mashua Amarilla, “Lagrima de Cristo” y “Ojo de paloma”, presenta un color amarillo similar, con respecto a la variedad Negra, presenta color purpura en cascara y pulpa. Siendo una evidencia la coloración de la mashua, la presencia de antocianinas tanto en la cáscara como en la pulpa (Gómez, 2015), debido a esto es estudiado por sus compuestos bioactivos para beneficios de la salud. Siendo una de las mas estudiadas la mashua *Negra*, ya que presenta mayor contenido de pigmentos como hemos podido evidenciar nosotros mismos durante la caracterización y extracción de almidón a comparación de las otras variedades.

En la Figura 12, se puede observar las diferencias de las cuatro variedades de mashua en cuanto a color de pulpa y cáscara, forma del tubérculo, dimensiones y características particulares con respecto a la profundidad de los ojos. Cabe resaltar, que se realizó la caracterización del tubérculo ya que, es importante considerar la variabilidad que puedan tener las mismas variedades, pero cultivadas en otras condiciones geográficas en cuanto a sus características fisicoquímicas (Beltran y Mera, 2013).

Figura 12

Cuatro variedades de mashua investigadas



Nota. Se presentan las cuatro variedades de mashua estudiadas en corte horizontal y transversal. (a) Mashua *Amarilla*, (b) Mashua *Negra*, (c) Mashua "Lagrima de Cristo", (d) Mashua "Ojo de paloma".

4.2 Propiedades fisicoquímicas de las variedades de mashua

La tabla 3 presenta los valores de pH, grados Brix y porcentaje de humedad de las cuatro variedades de mashua empleadas en el presente trabajo. Se observa que el pH de las variedades de mashua no muestra diferencia significativa puesto que, la diferencia entre el mayor valor y el menor valor de pH es a penas de 0.24. Con respecto a los grados Brix, la variedad "Ojo de paloma" presenta el menor valor de grados Brix, siendo estadísticamente diferente a las otras

tres variedades. En cambio, respecto al porcentaje de humedad, la mashua *Negra* es la que presenta menor humedad, mientras que la variedad “*Ojo de paloma*” presenta el mayor valor de humedad. Según el ANOVA, el porcentaje de humedad y sólidos solubles presentan diferencias significativas entre grupos (anexo 21), se visualiza el valor de 0.06 y 0.37.

Tabla 4

Propiedades fisicoquímicas de las cuatro variedades de mashua

Variedad de mashua	pH	Sólidos solubles (°Brix)	Humedad (%)
Mashua <i>Amarilla</i>	6.03 ± 0.09 ^a	5.17 ± 0.29 ^a	90.15 ± 2.86 ^{ab}
Mashua <i>Negra</i>	5.82 ± 0.08 ^a	5.33 ± 0.58 ^a	87.74 ± 2.19 ^a
Mashua “Lagrima de Cristo”	5.79 ± 0.05 ^a	6.90 ± 0.79 ^a	91.73 ± 0.74 ^{ab}
Mashua “ <i>Ojo de paloma</i> ”	5.93 ± 0.09 ^a	4.67 ± 0.58 ^b	93.25 ± 0.97 ^b

Nota. Medias con igual letra en la misma columna no difieren de forma significativa ($p < 0.05$). Se reportan las medias de tres replicas ± desviación estándar.

Con referencia a los valores de pH que van desde 5.93 hasta 6.03, son aproximados a lo reportado por Cairampoma Amaro (2020) donde indica que los valores de pH de la variedad *Amarilla*, *Negra* y *Chispeada* (“*Lagrima de Cristo*”) son 6.18, 6.17 y 6.20 respectivamente. Equivalente con el valor reportado por Moreno Ramírez (2017), donde el pH de la mashua *Chispeada* es 6.60. Figueroa y Calixto (2021) reporta valor de pH para la mashua *Negra*, está dentro del rango de 6.38 a 6.49. Los valores de pH de mashua resultantes son ligeramente menores a los reportados anteriormente, por lo que estos valores son ligeramente ácidos y varían según los días de almacenamiento del tubérculo desde el día de su cosecha, se considera un indicador de madurez debido a que es inversamente proporcional con el contenido de ácidos orgánicos.

Con respecto a los sólidos solubles, el valor del grado Brix va desde 4.67 a 6.90 es aproximado a los valores reportados por Cairampoma Amaro (2020) donde el grado Brix va desde 6.0 a 6.4

para las variedades mashua *Amarilla*, *Negra* y *Chispeada*. Así como también, el valor reportado por Moreno Ramirez (2017) para mashua *Chispeada* es de 6.4° Brix. Estas diferencias se podrían atribuir al estado de madurez, debido a que los ácidos orgánicos que son una reserva energética disminuyen con respecto al inicio de las actividades metabólicas postcosecha (Aguado, 2017), también debemos considerar lo mencionado por Lara (2017), nos indica que la mashua cuando está expuesto al sol estos desarrollan reacciones bioquímicas que producen el aumento de los sólidos solubles dándole un sabor dulce al ser consumidos, disminuyendo la acidez e incrementando el valor de pH.

En referencia a los valores de porcentaje de humedad, el rango va desde 87.74 hasta 93.25. Son valores similares a lo reportado por Cairampoma Amaro (2020), el porcentaje de humedad va desde 88.56 a 89.13 para variedades de mashua *Amarilla*, *Negra* y *Chispeada*. Los resultados de la mashua *Negra* están dentro del rango obtenido por Aguado (2017) que presentan valores de 86 a 87.4, de igual forma lo reportado por Cuti y Miranda (2021), el valor de porcentaje de humedad de la mashua *Negra* fue de 88.36, similar a la media que obtuvimos de 87.74. Las variaciones se pueden deber al grado de madurez del tubérculo, es un factor principal que nos determinan el contenido de agua presente (Barrera *et al.*, 2004).

Debido a los diferentes resultados obtenidos de pH, sólidos solubles y porcentaje de humedad presente entre variedades, es importante mencionar factores como la variabilidad genética, tiempo de almacenamiento, lugar de cosecha, el clima y el tipo de suelo, influyen en las características del tubérculo (Aguado Quispe, 2017).

4.3 Rendimiento de extracción de almidón

La Tabla 5 presenta los valores de los pesos durante la extracción de almidón. Sobre la torta residual se puede ver que quienes obtuvieron mayores pesos fueron las de mashua *Negra* y “*Ojo de paloma*”, 1.29 kg y 1.33 kg respectivamente, siendo las otras dos variedades de

mashua *Amarilla* y “*Lagrima de Cristo*” casi la mitad de 0.69 kg y 0.72 kg. Podemos observar en cuanto el porcentaje de rendimiento de almidón, que la variedad *Amarilla* fue la que tuvo mayor rendimiento con un 1.1%, entre las variedades *Negra* y “*Lagrima de Cristo*” no hay una diferencia significativa ya que los porcentajes entre los dos tuvieron una variación mínima del 0.02%, por otro lado, la variedad “*Ojo de paloma*” tuvo un porcentaje muy bajo del 0.07%.

Tabla 5

Rendimiento de almidón de cuatro variedades de mashua

Variedad de mashua	Pesos durante la extracción				Almidón extraído (g)	Rend. almidón extraído (%)
	Inicial (kg)	Inicial sin cascara (kg)	Torta residual húmeda (kg)	Torta residual seca (kg)		
Mashua <i>Amarilla</i>	5.02	4.79	0.72	0.13	55.04	1.10
Mashua <i>Negra</i>	5.04	4.71	1.29	0.11	48.00	0.95
Mashua “ <i>Lagrima de Cristo</i> ”	5.01	4.53	0.69	0.08	46.66	0.93
Mashua “ <i>Ojo de paloma</i> ”	5.03	4.78	1.33	0.07	3.40	0.07

Nota: La torta residual seca se obtuvo a partir de llevar a la estufa por 24 h la torta residual húmeda.

Estos resultados difieren un poco en cuanto a los obtenidos por Surco (2004), quien obtuvo un porcentaje del 2.20 % y se acercan más a los de Valcárcel (2010) en su investigación reporta que el almidón de mashua tiene un rendimiento del 1.70 %. Arcila *et al.* (2002) nos menciona que el rendimiento de la extracción va de la mano con el de la materia seca y del contenido de almidón en el tubérculo. Esto debido al estado de madurez del tubérculo en el momento que se da la extracción, ya que el almidón contenido en el tubérculo inicia el proceso de hidrólisis inmediatamente después de ser cosechado por lo que irá reduciendo su contenido de forma gradual a medida que el fruto siga madurando. Entonces podemos suponer que la estacionalidad de la materia prima afectó en el rendimiento del almidón, ya que esta fue

cosechada en el mes de junio, siendo guardada hasta el momento de su extracción de almidón en el mes de octubre.

En la Figura 13, se puede ver a los almidones extraídos de las variedades de mashua *Amarilla*, *Negra*, “*Lagrima de Cristo*” y “*Ojo de paloma*”. En estos almidones se pudo notar aún los colores de los pigmentos propios del tubérculo y residuos vegetales, ya que tanto como en el almidón de mashua *Amarilla* y el de “*Lagrima de Cristo*” se observaron colores naranjas y en las variedades *Negra* y “*Ojo de paloma*” algunas moradas, por lo que inferimos que en el proceso de extracción se debió de lavar más veces para de esta manera obtener un color lo más blanco. En el anexo 11 podemos ver el residuo vegetal en la centrifugación para la obtención de almidón.

Figura 13

Almidones extraídos de cuatro variedades de mashua



Nota. (a) Almidón de *Mashua Amarilla*, (b) Almidón de *Mashua Negra*, (c) Almidón de *Mashua “Lagrima de Cristo”*, (d) Almidón de *Mashua “Ojo de paloma”*.

4.4 Propiedades funcionales

4.4.1 Temperatura de gelatinización

En la Tabla 6 podemos ver la temperatura de gelatinización para cada variedad de mashua, los rangos oscilan de los 59.8 a los 62.82 °C, notamos que la que tuvo menor temperatura para su gelatinización fue la mashua *Amarilla* y las otras variedades no tienen una diferencia significativa.

Tabla 6

Temperatura de gelatinización por variedad de mashua

Variedad de mashua	Tg (°C)
Mashua <i>Amarilla</i>	59.80 ± 0.14 ^a
Mashua <i>Negra</i>	62.85 ± 0.07 ^b
Mashua “Lagrima de Cristo”	62.65 ± 0.21 ^b
Mashua ““Ojo de paloma””	62.60 ± 0.14 ^b

Nota. Medias con igual letra en la misma columna no difieren de forma significativa ($p < 0.05$). Se reportan las medias de dos replicas ± desviación estándar.

Por el contrario de Quispe Y. (2018) quién obtuvo una temperatura de gelatinización de 63.4 °C para la mashua *Amarilla* y de 59.57 °C para la *Negra*, pero está dentro del rango de 51.85 - 65.22 °C que reporta Valcárcel (2010). Esto puede deberse a una variedad de factores, incluido el porcentaje de amilosa, la estructura del gránulo y el tamaño, por lo que cada tipo de almidón puede tener un intervalo de gelatinización diferente. (Sánchez, 2007). Chen *et al.* (1998) menciona además que la temperatura del almidón está influenciada por las longitudes de la cadena de ramificación de la amilopectina y sus distribuciones, ya que los almidones con cadenas de ramificación más largas tienen temperaturas de gelatinización más altas y los almidones con estructuras similares tienen temperaturas de gelatinización más bajas. Es probable que según lo dicho por Chen (1998) las cadenas de amilopectina fueran más largas

para las variedades de mashua *Negra*, “*Lagrima de Cristo*” y “*Ojo de paloma*” y un mayor contenido de amilosa para la variedad de mashua *Amarilla* por lo que su temperatura de gelatinización fue menor.

4.4.2. Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH)

En la Tabla 7, se presentan los resultados de índice de absorción (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH) de cuatro variedades de mashua, se observa que los valores de IAA no presentan diferencias significativas entre sí. Con respecto a los resultados de ISA, los menores valores fueron mashua *Amarilla* y “*Lagrima de Cristo*” con 1.40 y 1.46, respectivamente. Los mayores valores son 7.41 y 6.88 correspondientes a la mashua *Negra* y “*Ojo de paloma*”. Además, los valores de la media de PH de las variedades de mashua son similares estadísticamente. En el ANOVA (anexo 21), se observa que el índice de solubilidad de agua presenta diferencias significativas entre grupos con 0.0.

Tabla 7

Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad de agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH) de almidones de variedades de mashua

Variedad de mashua	IAA (g gel/g)	ISA (%)	PH (%)
Mashua <i>Amarilla</i>	12.21 ± 0.14 ^a	1.40 ± 0.05 ^a	12.29 ± 0.13 ^a
Mashua <i>Negra</i>	14.15 ± 1.91 ^a	7.41 ± 0.60 ^b	14.59 ± 1.93 ^a
Mashua “ <i>Lagrima de Cristo</i> ”	13.49 ± 0.54 ^a	1.46 ± 0.18 ^a	13.57 ± 0.53 ^a
Mashua ““ <i>Ojo de paloma</i> ””	13.50 ± 2.18 ^a	6.88 ± 1.80 ^b	13.86 ± 2.30 ^a

Nota. Medias con igual letra en la misma columna no difieren de forma significativa ($p < 0.05$). Se reportan las medias de: dos replicas para mashua *Amarilla* y ““*Lagrima de Cristo*””, cuatro replicas para mashua *Negra* y ““*Ojo de paloma*””, ± desviación estándar.

Con respecto a los valores de IAA, presenta valores desde 12.21 a 14.15 g gel/g sin diferencia significativa entre variedades. Los resultados son menores a los valores reportados por Yungán

Pinda (2015), obteniendo un valor para mashua amarilla desde 8.4 a 8.5 g gel/g. La variación entre los resultados reportados puede deberse a la metodología de extracción, tamaño y forma del gránulo. Con relación a la metodología de extracción, puede haber mayor capacidad de absorción de agua debido al contenido de fibra residual y según Lindeboom *et al.* (2004), influye el tamaño y forma del gránulo pudiendo ser nuestros almidones extraídos con menor tamaño que lo reportado por Yungán Pinda. Betancur *et al.* (1997) mencionaron que la presencia de grupos hidrófilos que retienen agua contribuye a una mayor capacidad de absorción de agua.

Realizando una comparación de los valores de IAA resultantes con respecto al almidón de papa nativa que presenta valores desde 7.02 a 14.87 g gel/g (Palomino Mallma, 2018), almidón de papa criolla con valores desde 5.20 a 6.75 g gel/g (Solarte et al., 2019), almidón de arracacha con valores desde 6.51 a 7.91 g gel/g (Arone Palomino, 2019), y almidón de yuca presenta valores de 5.9 g gel/g (Jiménez y Martínez, 2016).

Con referencia a los valores de ISA obtenidos, la variedad *Amarilla* y “*Lagrima de Cristo*” tienen similitud de forma estadística en sus resultados con valores de 1.40% y 1.46%, respectivamente; sin embargo, son diferentes a los valores de medias homogéneas de la variedad *Negra* y “*Ojo de Paloma*” con resultados de 7.41% y 6.88%. Los resultados de ISA de mashua *Amarilla* y “*Lagrima de Cristo*” son equivalentes a los reportados por Surco Laos (2004), que indica valor de 2.27% para mashua *Amarilla*, pero son menores a lo reportado por Hermosa Mendoza (2013), donde presenta valor de 14.48%. El valor del índice de solubilidad en agua muestra el contenido de amilosa que es liberada del interior del gránulo cuando empieza a perder su estructura debido a la absorción de agua (Singh *et al.*, 2003). Según Conde-Petit *et al.* (2001), el hinchamiento del granulo es debido al calentamiento en exceso de agua provocando la separación de amilopectina y amilosa, perdiendo la cristalinidad y estructura, conllevando a que ocurra la lixiviación de la amilosa en el espacio intergranular, por

lo tanto, se entiende que el almidón al tener mayor contenido de amilosa es más soluble en agua. Alcázar-Alay y Meireles (2015) mencionan que la estructura cristalina del almidón se rompe y los grupos hidroxilos tienen la afinidad con las moléculas de agua. Las diferencias entre variedades de mashua puede deberse al contenido de amilosa presente en el almidón y el rompimiento de la estructura en frente al calor. El contenido de amilosa de almidones provenientes del mismo tubérculo puede ser diferentes con respecto a factores como la variedad, cosecha, clima, (Vargas y Hernández, 2013) y las condiciones de crecimiento según Moorthy (2002). Lo mismo menciona Gao *et al.*, 2014, que el contenido de amilosa puede variar dentro de una misma variedad botánica debido a diferencias en el lugar geográfico, las condiciones de cultivo o suelo.

No hay que descartar que también esta variación de ISA se puede deber al contenido de fosfolípidos en los gránulos de almidón que afecta directamente las propiedades funcionales, según Alcázar-Alay y Meireles (2015), los fosfolípidos están proporcionalmente relacionados con el contenido de amilosa, ya que se pueden formar complejos dando como resultado una menor solubilidad.

Se compara los valores resultantes con respecto al almidón de papa nativa, que presenta valores desde 7.13 a 11.46% (Palomino Mallma, 2018), almidón de papa criolla con valores desde 0.87 a 1.09% (Solarte et al., 2019), almidón de arracacha con valores desde 1.29 a 8.45% (Arone Palomino, 2019), almidón de olluco con valor de 2.75% (Surco Laos, 2004), almidón de oca presenta valor de 6.94% (Surco Laos, 2004), y almidón de yuca presenta valores de 4.36% (Jiménez y Martínez, 2016).

Los valores resultantes del poder de hinchamiento no presentan diferencias estadísticas entre sí, siendo el rango de PH desde 12.29 a 14.59%. Son valores mayores a lo reportado por Surco Laos (2004), donde el valor de PH para mashua amarilla es de 4.51%; por Yungán Pinda,

(2015), donde el valor de PH es de 8.5 a 8.6%, y al valor de 6.43% reportado por Hermosa Mendoza (2013). Esta variación puede deberse a los grupos fosfatos, aumentando la hidratación por el debilitamiento de los enlaces en la parte cristalina del gránulo (Hoover, 2001), o puede deberse al contenido de lípidos, según Alcázar-Alay y Meireles (2015), la amilosa tiene la capacidad de formar complejos lipídicos que restringen el hinchamiento. Según Morrison y Azudin, (1987), el poder de hinchamiento de los gránulos se reduce de forma significativa por la presencia de una pequeña fracción de lípidos. Mientras tanto, la molécula de amilopectina es responsable del hinchamiento de los gránulos debido a la formación de puentes de hidrógeno con el agua (Martínez *et al.* 2017), por esta razón, el gránulo tiene la capacidad de aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua ya que, se hidratan los fragmentos lineales de amilopectina en el interior del gránulo. Por otro lado, como se ha referenciado el poder de hinchamiento es una propiedad exclusiva del contenido de amilopectina, siendo la amilosa un diluyente e inhibidor del hinchamiento (Tester y Morrison, 1990); de igual forma menciona Adebawale *et al.* (2002), el poder de hinchamiento está relacionado con el contenido de amilosa, que es la molécula responsable de la unión asociativa, la fuerza y el carácter de la red micelar dentro del gránulo. Por lo tanto, un contenido bajo de amilosa resultará en un poder de hinchamiento alto.

Realizando una comparación de los valores de PH resultantes con respecto al almidón de papa nativa que presenta valores desde 8.42 a 15.85% (Palomino Mallma, 2018), almidón de papa criolla con valores desde 5.24 a 5.82% (Solarte *et al.*, 2019), almidón de arracacha con valores desde 6.41 a 7.27% (Arone Palomino, 2019), almidón de olluco con valor de 8.36% (Surco Laos, 2004), almidón de oca presenta valor de 11.85% (Surco Laos, 2004), y almidón de yuca presenta valores de 10.8 hasta 11.6 % (García *et al.*, 2013).

En general, las propiedades funcionales de los almidones dependen esencialmente en la relación amilosa/amilopectina que constituyen casi la totalidad del gránulo. Esta relación es

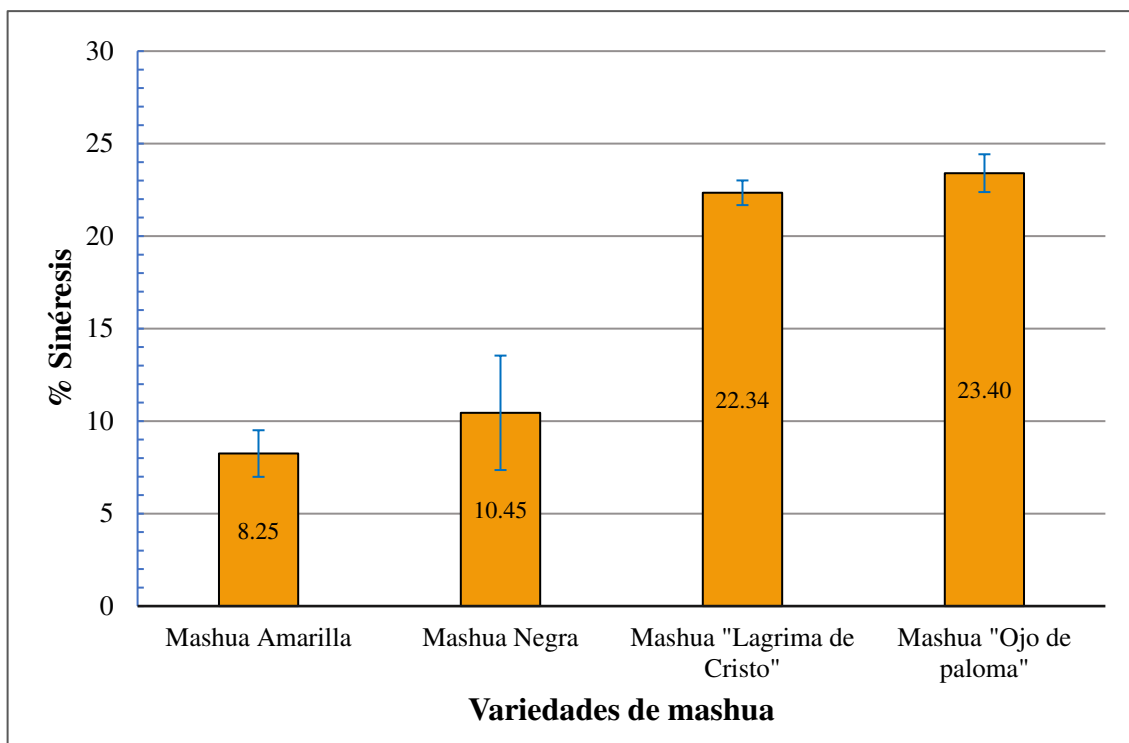
constante en el granulo de almidón, sin embargo, cambia la proporción de una variedad de a otra dentro de la misma especie botánica (Aristizábal y Sánchez, 2007). Según Anderson *et al.* (1969), los almidones de buena calidad son los que presentan una alta viscosidad, baja solubilidad, alta absorción de agua y alto poder de hinchamiento. Entonces almidones provenientes de la mashua *Amarilla* y "*Lagrima de Cristo*" pueden ser considerados de buena calidad al cumplir con las características mencionadas de sus propiedades funcionales.

4.4.3 Sinéresis

En la figura 14, con respecto al análisis estadístico del porcentaje de sinéresis en una semana de congelación hay diferencias significativas entre las variedades. La mashua "*Ojo de paloma*" fue la que presentó mayor grado de sinéresis con una media de 23.4% y la de menor grado fue 8.25% de la variedad de mashua *Amarilla*.

Figura 14

Porcentaje de sinéresis de almidones extraídos de mashua



Nota. Se presentan las medias de los resultados de dos replicas y la desviación estándar.

Soni *et al.* (1990) mencionan que los almidones sometidos a congelación se ven afectados en la sinéresis, pues hay una redistribución y dilución de los geles del almidón por el crecimiento y disolución de los cristales de hielo. Este porcentaje de sinéresis va de la mano directamente con la tendencia de un almidón retrogradado (Bou *et al.*, 2006), por lo que según esto podríamos suponer que los almidones de mashua de las variedades “*Lágrima de Cristo*” y “*Ojo de paloma*” son almidones con bastante tendencia a la retrogradación. La retrogradación tiene importancia en la digestión, ya que los almidones que presenten más porcentaje de sinéresis son menos digeribles que un almidón no retrogradado, ya que llegará al colon sin ser digerido. El almidón retrogradado ejerce como fibra soluble (Bello *et al.*, 2002; Paredes *et al.*, 2009).

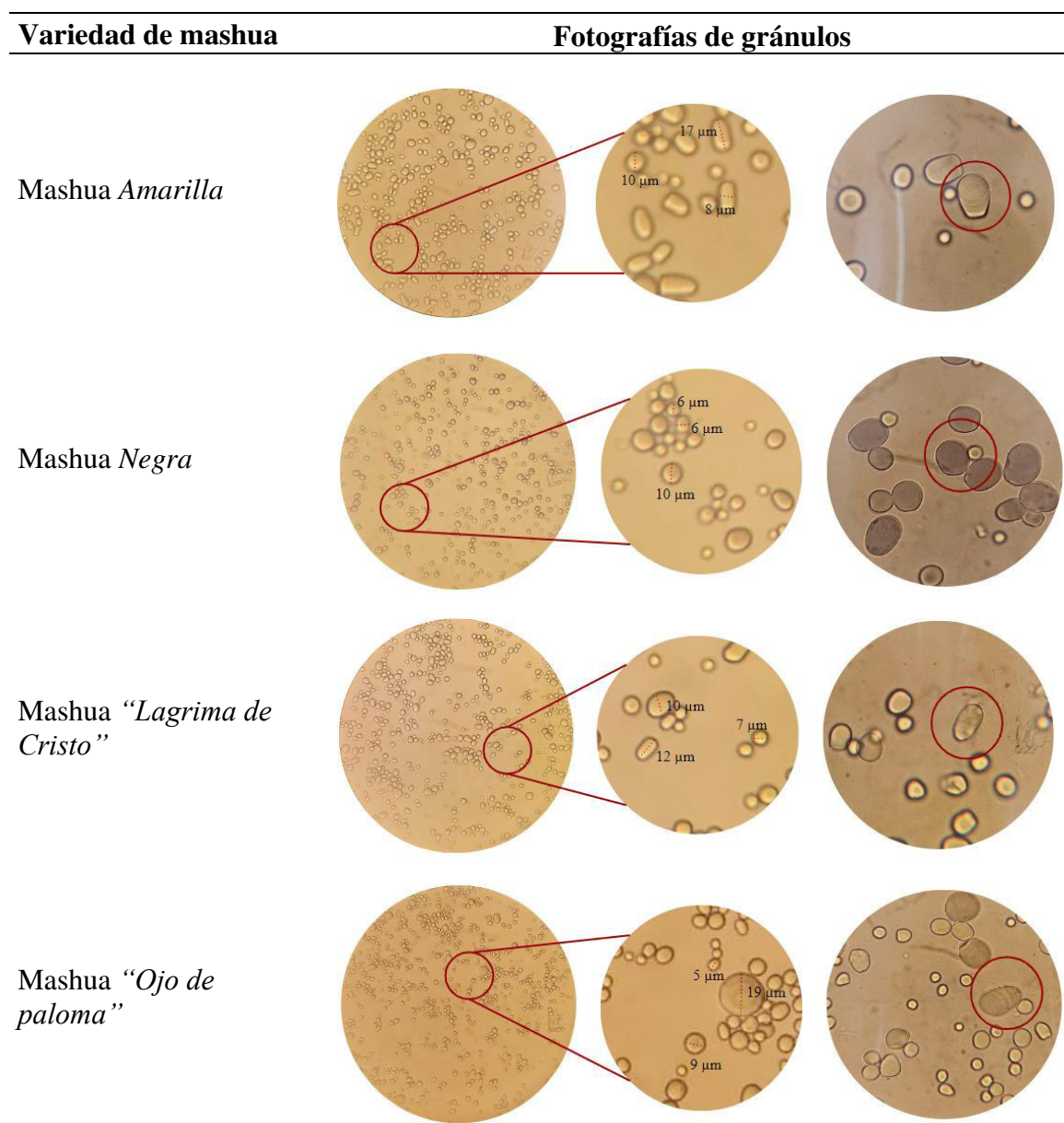
Estos resultados del presente trabajo se pueden comparar a los obtenidos por Hernández *et al.* (2008) en donde nos menciona que fue el *makal* o *pituca* que obtuvo mayor porcentaje de sinéresis (21,73 %) similares a las variedades de mashua “*Lágrima de Cristo*” y “*Ojo de paloma*”; además indica que el almidón de camote tuvo un porcentaje de 7,13 %, de sinéresis parecido al de almidón de la mashua *Amarilla*.

4.5 Caracterización morfológica del gránulo de almidón

En la figura 15, las primeras fotos del lado derecho corresponden a las tomadas con el objetivo 40x, donde pueden ver en su mayoría los gránulos de aspecto circular, unos más grandes que otros. Las fotos del medio fueron ampliadas para poder mostrar los diámetros de los gránulos de almidón. En las fotos del lado izquierdo tomadas con el objetivo a 100x, se pueden notar los gránulos mucho más grandes donde observamos halos de un color más oscuro y la forma más definida del gránulo de almidón.

Figura 15

Vista al microscopio de gránulos de almidón de las variedades de mashua



Nota: Se observa en las fotos del medio las fotografías ampliadas para ver detalladamente cómo se tomaron las mediciones de los diámetros del gránulo de almidón.

Estos resultados fueron similares a los de Guevara y Coello (2021) que también observaron en variedades de mashua *Amarilla*, *Blanca*, *Verde Amarilla* y *“Ponza rondador”* que predominaron las estructuras ovaladas, esféricas y algunas otras esféricas truncas. BeMiller y

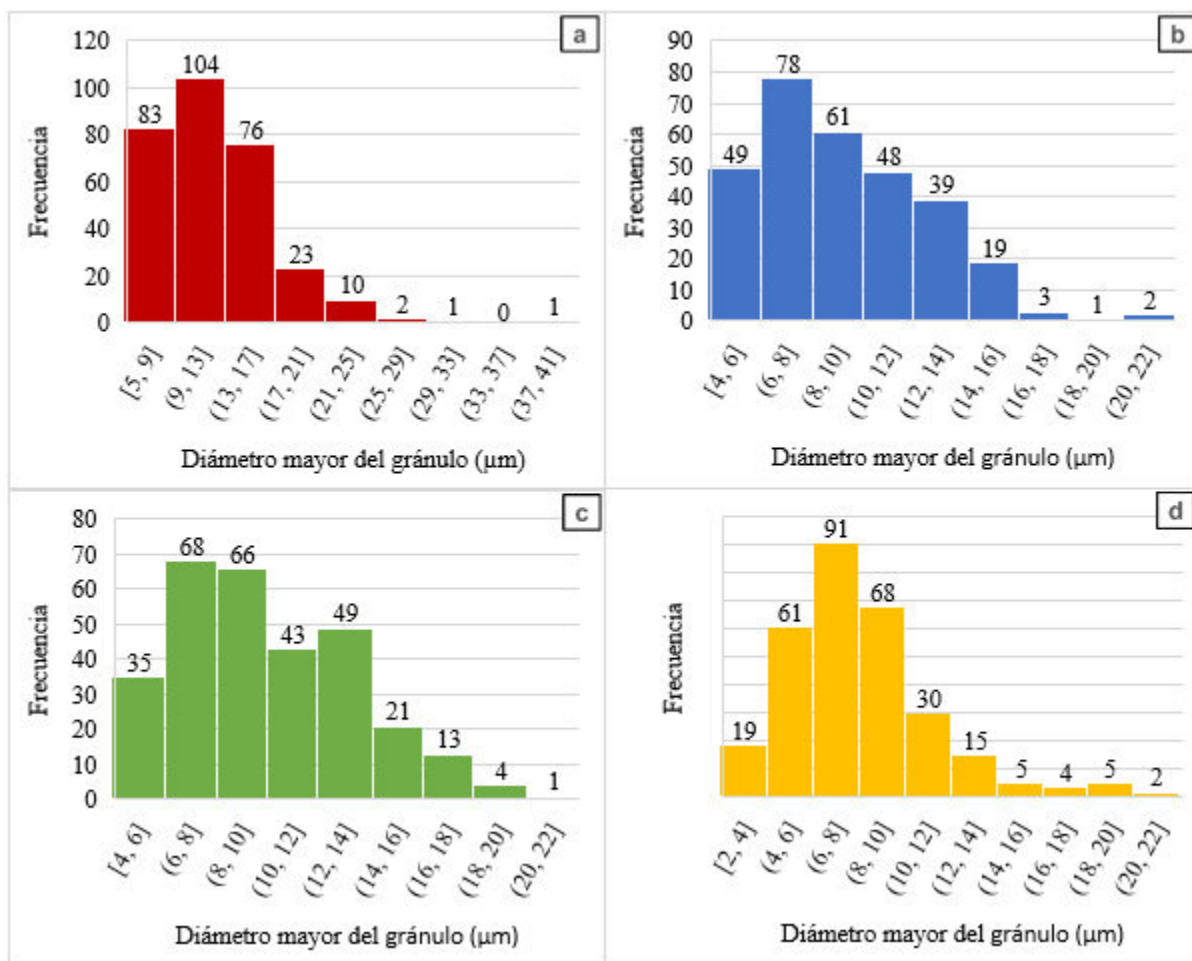
Whistler (2009) presentan una figura de la estructura general del almidón, en dónde observamos al gránulo con sus partes como la capa dura cristalina que serían los halos más oscuros y las capas blandas semi cristalinas como las de color más claro, el hilum o núcleo del almidón sería la parte más central del gránulo, similares a los de las fotos tomadas del microscopio, estas partes son más notorias en la mashua *Amarilla* y “*Ojo de paloma*”.

En la figura 16 se presenta el histograma de distribución de la frecuencia de los tamaños de los gránulos de almidón de las cuatro variedades mashua. En la figura 16a, variedad de mashua *Amarilla*, la frecuencia más alta fue la de 9 a 13 μm y las más bajas entre los rangos de 25 – 41 μm . El 94% de los gránulos tienen un diámetro mayor hasta 17 μm . En los resultados se obtuvo que el diámetro mayor del gránulo de almidón más pequeño fue 5 μm , mientras que de los 300 gránulos hubo un gránulo midiendo 30 μm (la séptima barra del histograma) y 39 μm (novena barra).

Para el caso de la mashua *Negra*, “*Lágrima de Cristo*” y “*Ojo de paloma*” (figura 16b, 16c y 16d), las frecuencias más altas de diámetro mayor de los gránulos de almidón están en el rango 6 a 8 μm y las más bajas fueron de 16 a 22 μm . El 91% de los gránulos alcanzaron un diámetro mayor hasta 14 μm . Los tamaños más grandes de gránulos de almidón registrados para las variedades de mashua *Negra*, “*Lágrima de Cristo*” y “*Ojo de paloma*” fueron de 22, 21 y 22 μm , respectivamente; lo que puede ser un indicativo de la similitud de tamaños de gránulos entre estas tres variedades.

Figura 16

Distribución de tamaños de gránulos de almidón de las variedades de mashua



Nota: (a) mashua *Amarilla*, (b) mashua *Negra*, (c) mashua "*Lagrima de Cristo*" y (d) mashua "*Ojo de paloma*".

Medina y Salas (2008) presentan un histograma de la distribución del tamaño de gránulo de almidón de papa muy parecidos a los histogramas de este trabajo, con todas las barras inclinadas hacia la izquierda.

Según la Tabla 8, la variedad *Amarilla* es la que muestra mayor tamaño de gránulo en promedio, puesto que sus estadísticas descriptivas de tendencia central (moda, mediana y promedio) poseen los valores más altos de las cuatro variedades. En cuanto a la forma de distribución la variedad "*Amarilla*" y la de "*Ojo de paloma*" presentan los mayores valores de sesgo, indicando que su distribución esta sesgada a la izquierda, tal como se observan en la Figura 16a y 16d. Las dos variedades que indican que hay mayor distribución alrededor de la moda

(leptocúrtica) fueron las de *Amarilla* y “*Ojo de paloma*”, mientras que las variedades *Negra* y “*Lágrima de Cristo*” presentan una distribución más extendida (mesocúrtica).

Tabla 8

Estadísticas descriptivas de los tamaños de gránulos de almidón de las cuatro variedades mashua

Estadísticas descriptivas	Variedad de Mashua			
	<i>Amarilla</i>	<i>Negra</i>	“ <i>Lágrima de Cristo</i> ”	“ <i>Ojo de paloma</i> ”
Moda	10.00	8.00	8.00	8.00
Mediana	12.00	9.00	10.00	8.00
Promedio	12.67	9.72	10.45	8.55
Sesgo	1.26	0.68	0.51	1.27
Curtosis	3.41	0.23	-0.38	2.49
Tipo de Curtosis	Leptocúrtica	Mesocúrtica	Mesocúrtica	Leptocúrtica

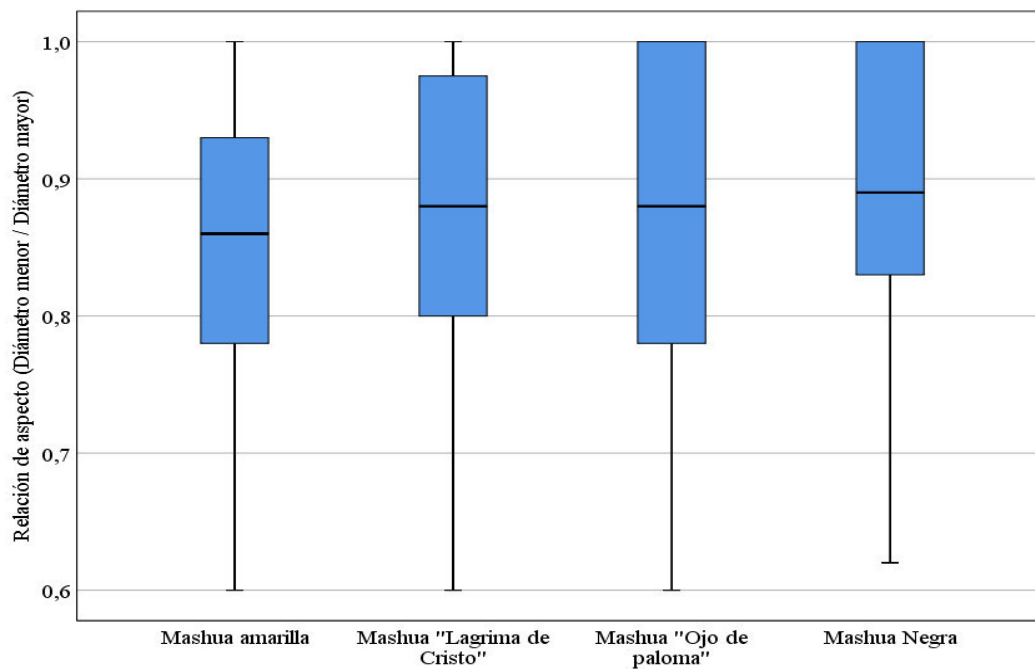
Los resultados de Medina y Salas (2008) presentan los promedios de los tamaños de los gránulos de maíz, yuca y papa, que fueron 12.69, 10.38 y 15.22 μm , respectivamente lo que podría compararse a los de la mashua *Amarilla* y “*Lágrima de Cristo*”. En relación al sesgo coincide con lo dicho por ... donde dice que un sesgo positivo es: moda < mediana < media, cumplen con las variedades de *Amarilla*, *Negra* y “*Lágrima de Cristo*”, menos en la “*Ojo de paloma*” donde la moda y la mediana resultó ser la misma es una distribución medio simétrica pero inclinada hacia la izquierda.

En cuanto a la relación de aspecto, lo que podría decirse que es la proporción de entre el diámetro menor y el mayor, considerando que los alargados o los más ovalados fueron tomados desde la vista lateral o que no están en su posición natural de reposo, por esto de los 300 datos tomados se descartaron los que en resultados fueron menores a 0.6 se puede notar en su mayoría el aspecto esférico y ovalado podemos observar los gránulos de almidón de la fotografía del medio con algunas de sus longitudes, estamos asumiendo que las más alargadas

En la Figura 17, se presenta el gráfico de caja y bigotes de la relación de aspecto de los gránulos de cuatro variedades de mashua. Se muestra un rango de variación que va desde el valor mínimo 0.6 hasta el máximo de 1.0. Las variedades de mashua *Negra* y mashua “*Ojo de paloma*” presentan el valor máximo de 1.0, indica una forma circular del gránulo de almidón mientras que, si el valor va bajando hasta llegar al mínimo, su forma se vuelve más ovalada. La línea horizontal marca el valor de la mediana del conjunto de datos con respecto a cada variedad.

Figura 17

Relación de aspecto del gránulo de almidones de mashua



Estas diferencias entre los aspectos pueden deberse a la forma y tamaño de los gránulos de almidón de mashua. Según Guevara y Coello (2021), menciona que los gránulos de almidón de las cuatro variedades de mashua presentan una morfología donde predomina las estructuras ovaladas y esféricas, con menor participación se observan las formas esféricas-truncadas. Las diferencias entre la forma de los gránulos se pueden atribuir a diversos factores de origen biológico, bioquímico, fisicoquímico y ambiental (Abegunde *et al.*, 2013). Según Lindeboom

et al. (2004), mencionaron que la morfología y el tamaño del gránulo de almidón depende de la genética de la planta, ya que la estructura de la membrana y los plástidos tienen sus propias características físicas.

4.6 Hidrolisis enzimática de los almidones

Se realizó la hidrolisis enzimática de tres almidones con mayor rendimiento de extracción mediante las enzimas alfa-amilasa y glucoamilasa. En la Figura 18, se observa la gráfica del proceso de licuefacción en 160 minutos con la enzima alfa-amilasa iniciando desde una dextrosa equivalente de 0 % hasta un promedio de mayor equivalente de dextrosa de 27.01%, 26.57% y 25.79% para mashua Amarilla, Negra y “Lagrima de Cristo” (Tabla 9). El equivalente de dextrosa de la variedad *Amarilla* presenta diferencia significativa con respecto a la variedad *Negra* y “*Lagrima de Cristo*”, pero son mínimas como se puede observar en la Tabla 9. Según Ega (2023), si el resultado de equivalente de dextrosa es menor a 20% en el periodo de licuefacción con un tiempo de 3 h, significa que el almidón no es apto para pasar al proceso de sacarificación.

Tabla 9

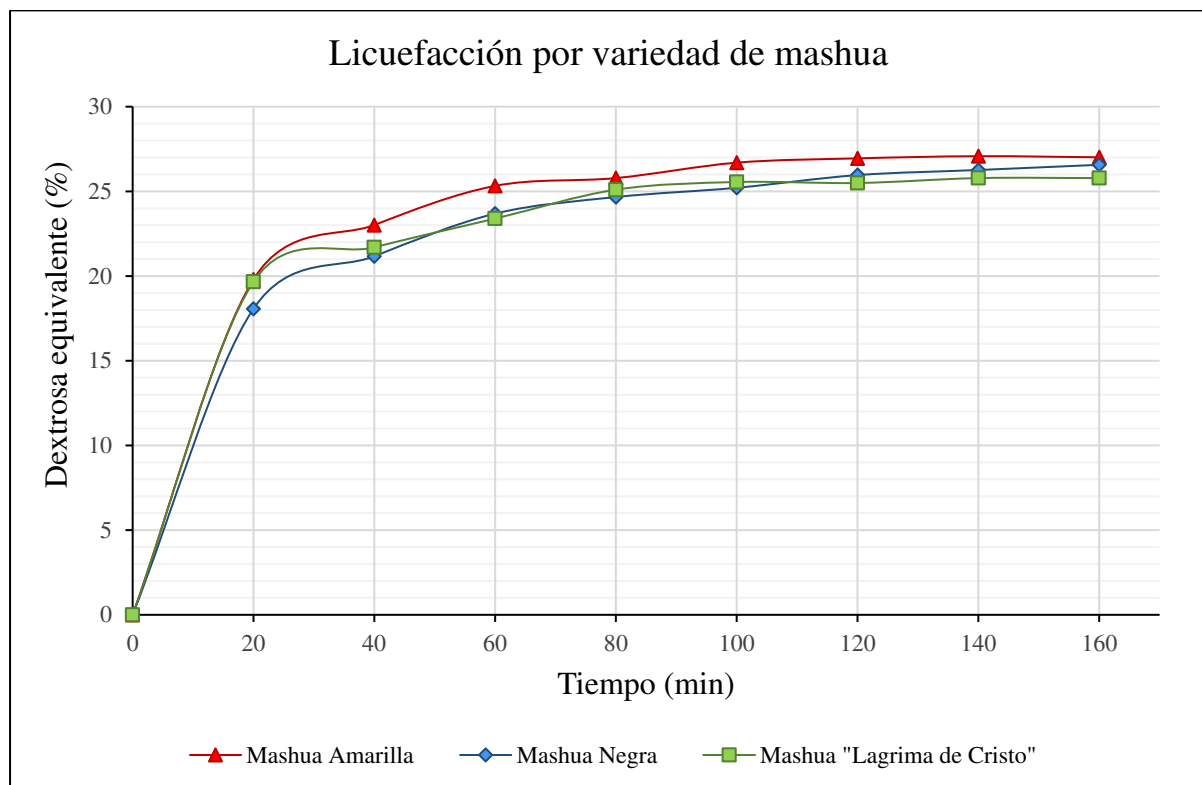
Equivalente de dextrosa durante el proceso de licuefacción

Licuefacción		Equivalente de dextrosa (DE) %		
Muestra	Tiempo (min)	Mashua Amarilla	Mashua Negra	Mashua “Lagrima De Cristo”
0	0	0.00	0.00	0.00
1	20	19.80	18.07	19.66
2	40	23.01	21.17	21.69
3	60	25.32	23.69	23.39
4	80	25.79	24.66	25.10
5	100	26.70	25.21	25.55
6	120	26.95	25.96	25.50
7	140	27.08	26.26	25.79
8	160	27.01 ^a	26.57 ^b	25.79 ^b

En el transcurso del proceso de licuefacción, se observó el incremento progresivo cada 20 min. Se observó el mayor incremento en el minuto veinte, hasta llegar a ser cada vez constante los últimos dos datos obtenidos del equivalente de dextrosa. El proceso de conversión de almidón a dextrinas presentó una curva potencial con las siguientes ecuaciones del modelo cinético: $y=13.077.X^{0.1507}$, $y=10.647.X^{0.1859}$, $y=13.142.X^{0.139}$ con valor de $R^2=0.9225$, $R^2=0.9638$ y $R^2=0.9397$ para variedad *Amarilla*, *Negra* y "*Lagrima de Cristo*".

Figura 18

Gráfico del proceso de licuefacción en tres variedades de mashua



Nota. Los resultados de dextrosa equivalente son medias de dos replicas.

En el proceso de sacarificación, después de agregar la enzima glucoamilasa se tomó la muestra 0 presentando valores de 34.18%, 36.69% y 34.39% para mashua *Amarilla*, mashua *Negra* y "*Lagrima de Cristo*", se observó el incremento en el minuto treinta de un 50% por ciento más. Al término de la hidrólisis, la variedad "*Lagrima de Cristo*" presentó diferencia significativa con la variedad *Amarilla* y *Negra*. Presentaron un equivalente de dextrosa desde 69.50 a

72.04%. El resultado es menor a lo reportado por Huanca Lopez (2017), quien obtuvo valores de 46.2% para variedad *Amarilla* y 61.2% para variedad *Negra*.

Tabla 10

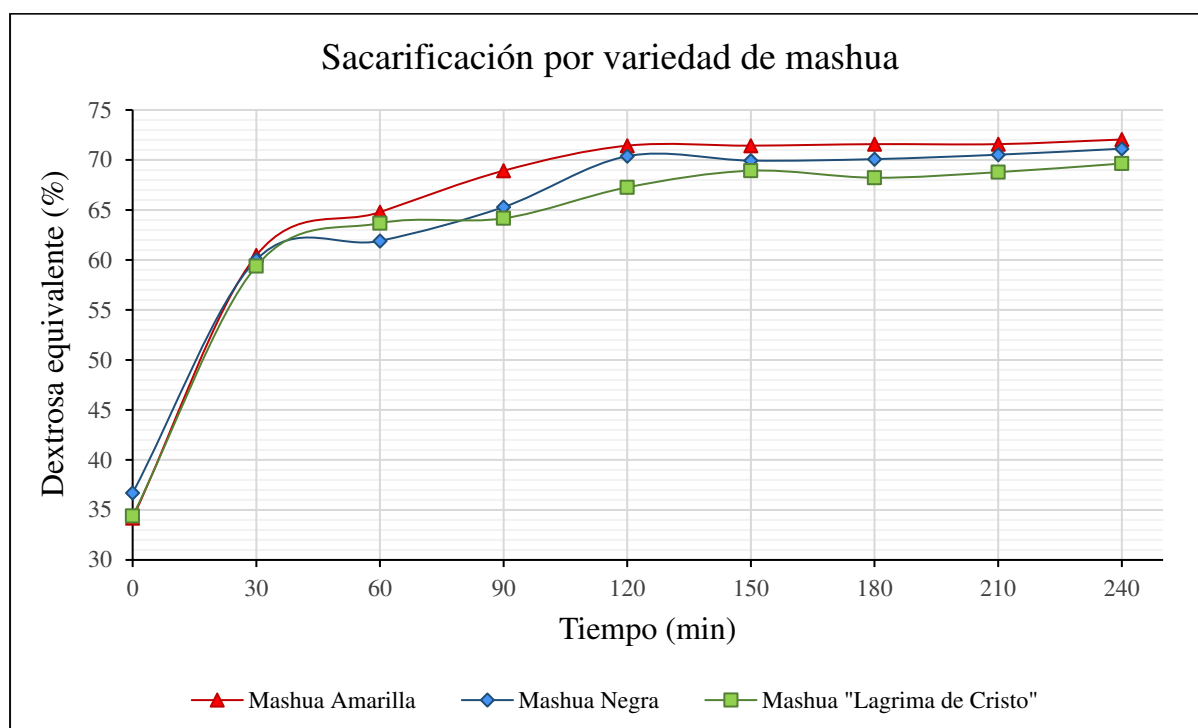
Equivalente de dextrosa durante el proceso de sacarificación

Sacarificación		Equivalente de dextrosa (DE) %		
Muestra	Tiempo (min)	Mashua Amarilla	Mashua Negra	Mashua “Lagrima De Cristo”
0	0	34.18	36.69	34.39
1	30	60.45	60.02	59.38
2	60	64.78	61.90	63.67
3	90	68.92	65.29	64.16
4	120	71.43	70.38	67.26
5	150	71.43	69.93	68.92
6	180	71.58	70.08	68.22
7	210	71.58	70.52	68.78
8	240	72.04	71.12	69.64
9	1080	72.04 ^a	71.28 ^a	69.50 ^b

El proceso de conversión a jarabe de glucosa presentó una curva potencial con las siguientes ecuaciones del modelo cinético: $y=45.765.X^{0.866}$, $y=43.781.X^{0.0909}$, $y=46.13.X^{0.0763}$ con valor de $R^2=0.9053$, $R^2=0.9065$ y $R^2=0.9511$ para variedad *Amarilla*, *Negra* y “*Lagrima de Cristo*”. En la Figura 19, el pico o incremento máximo de la sacarificación se logró a partir de los 120 minutos, después de ese tiempo de hidrolisis llegó a un estado constante en donde los 3 últimos volúmenes gastados para obtener equivalente de dextrosa tuvieron cada vez menor diferencia.

Figura 19

Gráfico del proceso de sacarificación en tres variedades de mashua



4.7 Caracterización del jarabe de glucosa obtenido

Los jarabes de glucosa obtenidos presentan las siguientes características en la siguiente tabla:

Tabla 11

Parámetros fisicoquímicos de los jarabes de glucosa obtenidos

Parámetros fisicoquímicos	Jarabe de glucosa		
	Mashua <i>Amarilla</i>	Mashua <i>Negra</i>	Mashua "Lagrima de Cristo"
Producción de glucosa (g/L)	57.35	58.35	56.41
Equivalente de dextrosa (%)	72.04	71.28	69.50
pH	4.70	4.70	4.70
Grados °Brix	65	65	65

Nota. Los resultados presentados se obtuvieron de la media de los datos obtenidos.

Se observa que la concentración de glucosa (g/L) es mayor en la mashua *Negra* con 58.35 con un equivalente de dextrosa de 71.28%, puede ser debido a que presenta mayor contenido de glucosa, así como de otros azúcares. El mayor equivalente de dextrosa presenta la variedad *Amarilla* y *Negra*. Las tres variedades lograron un equivalente de dextrosa mayor al 65%, por lo cual están dentro de la categoría de jarabes de glucosa tipo III (alta conversión) según la clasificación de Whistler *et al.* (1984), que contienen D-Glucosa, maltosa y maltotriosa principalmente.

Las características del jarabe están dentro de las especificaciones de un jarabe comercial excepto por el grado Brix, ya que para debe ser de 70°Brix, sin embargo, debido a falta de evaporador al vacío no se logró concentrar dentro de lo establecido por el Codex.

CONCLUSIONES

Las cuatro variedades de mashua presentan diámetros y longitudes de tubérculo muy similares. Con respecto al color de la cascara, las cuatro variedades presentan rasgos muy diferentes propios de su morfotipo. Con respecto al color de la pulpa, las variedades *Amarilla*, lagrima de cristo y “*Ojo de paloma*” presentan un color amarillo muy similar en la parte de la cascara como color secundario, mientras que la variedad *Negra* es la que presenta un color morado.

Las cuatro variedades presentan formas similares de sus gránulos de almidón, siendo predominantemente circular. Los gránulos de mayor tamaño lo presentan la variedad *Amarilla* y los de menor tamaño la variedad “*Ojo de paloma*”. Las variedades de mashua oscilan desde 2 um a 39 um siendo parecido al. En cuenta a la temperatura de gelatinización, esta oscila entre los 59 °C y 62 °C. Con relación al índice de absorción los almidones de las cuatro variedades presentan un índice de absorción de agua muy similar. Las variedades *Amarilla* y “*Lágrima de Cristo*” presentaron buenas propiedades de índice de absorción de agua, solubilidad de agua y poder de hinchamiento, lo que nos indicaría que son almidones de buena calidad para aplicaciones agroindustriales.

Las variedades *Amarilla*, *Negra* y “*Lágrima de Cristo*” presentaron buenas aptitudes para producir jarabe de glucosa, lograron clasificar a un jarabe tipo III de alta conversión. Destaca la variedad *Amarilla* y *Negra* con el mayor equivalente de dextrosa.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el estudio a un mayor número de variedades. Formular proyectos que tiendan a realizar una exploración más detallada y completa de la caracterización de los almidones en una mayor cantidad de variedades de mashua. Dicho estudio, deberá considerar la instalación, producción y cosecha de las variedades a estudiar a fin de evitar las variabilidades introducidas por los diferentes periodos fenológicos, tiempo de almacenamiento y manipulación de los tubérculos de mashua.
- Evaluar diferentes concentraciones de sustrato de almidón para su conversión en jarabe de glucosa y estudiar su cinética enzimática. Se recomienda utilizar los jarabes obtenidos en aplicaciones alimentarios o no alimentarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abegunde, O, Mu, T, Chen, J., & Deng, F. (2013). Physicochemical characterization of sweet potato starches popularly used in Chinese starch industry. *Food Hydrocolloids*, 33(2), 169–177. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2013.03.005>
- Pérez, J. (2000). *Cultivos (Cereales, Leguminosas y Oleaginosas)*. Primera Edición, Bogotá, Colombia: UNAD.
- Aguado, B. (2017). *Influencia del tiempo de soleado sobre la concentración de azúcares reductores y capacidad antioxidante de la mashua (tropaeolum tuberosum) ecotipo negra* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/eee78f7d-c6d7-4ced-b92b-d32023d62bb9>.
- Alcázar, S. & Meireles, A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology*, 35(2), 215–236. <https://doi.org/DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6749>.
- Anderson, R.; Conway, H.; Pheiser, V.; Griffin, L. (1970) Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, v. 14, 1969, p. 4-12. <https://doi.org/10.1002/star.19700220408>
- AOAC (2005). Association of Official Analytical Chemists, official methods of analysis, 18a Ed.
- Arcila, P., Giraldo, G.; Celis, F. y Duarte, J. (2002). Cambios físicos y químicos durante la maduración del plátano dominico-hartón (*Musa AAB Simmonds*) en la región cafetera central colombiana. En: ACORBAT. (15: 27-2, octubre-noviembre, 2002: Cartagena, Colombia). Reunión. Medellín: Asociación de Bananeros de Colombia AUGURA. pp 455-463.

- Aristizábal, J. y T. Sánchez, Guía Técnica para la Producción y Análisis de Almidón de Yuca., Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia (2007).
- Badui, S. (2006). Química de los Alimentos (Cuarta ed.). México: Pearson Educación.
- Barrera, V., Tapia, C. y Monteros, A. (2004). Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador (pp. 117-142). <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3265>.
- Bello, P., Osorio, D., Agama, A. y Núñez, S. (2002) Propiedades químicas y fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36: 319-328.
- Beltran, A., & Mera, J. (2013). Elaboración del tuberculo mashua (*tropaeolum tuberosum*) troceada en miel y determinación de la capacidad antioxidante [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/3504>.
- BeMiller, J. y R, Whistler. 2009. Starch: chemistry and technology. Academic Press, USA
- Betancur, A.D.; Chel, G.L.; Canizares, H.E. 1997. Acetylation and characterization of *Canavalia ensiformis* starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 378-382.
- Bou, L., Vizcarrondo, C., Rincón, A., & Padilla, F. (2006). Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. (4).
- Cabrera, M., Andrade, G, & Sampedro, S. (2020). Caracterización nutricional y funcional de la harina de mashua. *Vers demain (Ed. française)*. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1299>
- Cairampoma Amaro, J. (2020). *Efecto del tiempo y tipo de cocción en la concentración de glucosinolatos de tres accesiones de mashua (Tropaelum tuberosum)*[Tesis de pregrado,

Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP.
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/7194>

Campos, D., Noratto, D., Chirinos, R., Arbizu, C., Roca, W., & Zevallos, y. C. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: Native potato (*Solanum* sp.), mashua. En R. e. Pavón, Native potato (*Solanum* sp.), mashua (pág. 86). Lima: Journal of the Science of Food and Agriculture.

Castaño, H., Cardona, M., Mejía, C., Acosta, A. (2011). Producción de etanol a partir de harina de yuca en un sistema de hidrólisis enzimática y fermentación simultánea. *Dyna*, 78 (169), 158-166.

Chacón, O. (1960) Estructura y variabilidad de (*Tropaeolum tuberosum* R. & P.). Tesis previa a la obtención del grado de magister en agricultura. Instituto Interamericano de Ciencias Agrarias. Turrialba, Costa Rica.

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.pttz.org/wp-content/uploads/2017/12/05_Chen.pdf

Cheng, Y.; TSAI, M.; TSENG, K. Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. *Cereal Chemistry*, v. 73, n. 4, p. 415-420, 1996.

Cutrim Farias, F., De Souza Moretti, M., Souza Costa, M., BordignonJunior, S., Brandão Cavalcante, K., Boscolo, M., Gomes E., Landi Franco C. y Da Silva R. (2020). Structural and physicochemical characteristics of taioba starch in comparison with cassava starch and its potential for ethanol production. *Industrial Crops & Products*, 157, 112825. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112825>

- Cobana, M., & Antezana, R. (2007). PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA POR VÍA SECA. *Revista Boliviana de Química*, 24(1), 77-83.
- Conde-Petit, B., Nuessli, J., Arrigoni, E., Escher, F., & Amadó, R. (2001). Perspectives of starch in food science. *Chimia*, 55(3), 201-205.
- Ega, L. (2023). Enzymatic liquification pattern of superior sweet potato starch of CIP-type. *Food Research*, 7(2), 230-235. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.7\(2\).157](https://doi.org/10.26656/fr.2017.7(2).157)
- Figuroa, D. y Calixto, B. (2021). *Efecto de la cocción y digestión invitro, en las propiedades antioxidantes en cáscara y pulpa de Mashua Negra (Tropaeolum tuberosum)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio Institucional UNHEVAL. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/7160>.
- 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
- Gao, H., Cai, J., Han, W., Huai, H., Chen, Y., & Wei, C. (2014). Comparison of starches isolated from three different *Trapa* species. *Food Hydrocolloids*, 37, 174-181. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.11.001>.
- Gómez, L. (2015). Efecto de la micorrización y la abonadura orgánica en el cultivo de mashua (*tropaeolum tuberosum*) en la variedad *Amarilla* tardía en la zona de caranqui, provincia de Imbabura. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Babahoyo. El Angel-Carchi, Ecuador.

- Gopinath, S., Anbu, P., Arshad, M., LakshmiPriya, T., Voon, C., Hashim, U., & Chinni, S. (2017). Biotechnological processes in microbial amylase production. *BioMed Research International*, 2017, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2017/1272193>
- Grace, M. (1977). Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 116.
- Grau, A.; Ortega, R.; Nieto, C. y Hermann, M. (2003). Mashua *tropaeolum tuberosum* Ruíz & Pavón. International Plant Genetic Resourch Institute, Roma, Italia.
- Guan, J.y Hanna, A. (2004). Extruding foams from corn starch acetate and native corn starch. *Biomacromolecules*, v. 5, p. 2329-2339.
- Guevara, D. y Coello, D. (2021). Análisis morfométrico de harina, almidón y proteína de *Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(3), 547-5354. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i3.2599>
- Gupta, R., Gigras, P., Mohapatra, H., Goswami, V. K., & Chauhan, B. (2003). Microbial A-amylases: a Biotechnological perspective. *Process Biochemistry*, 38(11), 1599-1616. [https://doi.org/10.1016/s0032-9592\(03\)00053-0](https://doi.org/10.1016/s0032-9592(03)00053-0)
- Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., y Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28(3), 718-726. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612008000300031>
- Holik, H. (2005). Pulp and paper. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (pp. 89-103). Weinheim: Wiley.
- Huanca, S. (2017). *Determinación de la relación entre estructura y rendimiento de jarabe de glucosa a partir de almidón extraído de diferentes tubérculos del departamento de La Paz* [Tesis de maestría, Universidad Mayor De San Andrés]. Archivo digital. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/23010>

- Martínez, J., Hernández, J. & Arias, A. (2017). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de arroz (*Oryza sativa* L.). *Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 25(41), 15–30.
- Sanchez, S., Salazar, M., Solanilla, J., & Rodriguez, R. (2023). Andean Tubers, Morphological Diversity, and Agronomic Management: A Review. *Plant science today*, 10(2). <https://doi.org/10.14719/pst.2504>
- Martinez, S. y Jimenez E. (2016). *Obtención y caracterización física y química del almidon de yuca (Manihot esculentum) variedad Guayape* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Pedro Ruiz Gallo]. *Repositorio de UNPRG.*. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/865>
- Kaur A., Singh N., Ezekiel R. y Singh H., (2007). Physicochemical, Thermal and Pasting Properties of Starches Separated from Different Potato Cultivars Grown at Different Locations. *Food Chemistry*, 101, 643–651.
- Knutzon, C.; Grove, M. (1994) Rapid method for estimation of amylose in maize starches. *Cereal Chemistry*, v. 71, n. 5, p. 469
- Lara, M. (2017). *Deshidratación de mashua *Tropaeolum tuberosum* para la obtención de hojuelas* [Tesis previa a la obtención del Título Ingeniería Agroindustrial, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Universidad técnica del Norte, <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6153>.
- Lindeboom, N.; Chang, P. R. and Tyler, R. T. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *StarchStärke*. 56(34):89-99. <https://doi.org/10.1002/star.200300218>.
- Manrique, I.; Arbizu, C.; Vivanco, F.; Gonzales, R.; Ramírez, C.; Chávez, O.; Tay, D. y Ellis, D. (2014). *Tropaeolum tuberosum* Ruíz & Pav. Colección de germoplasma de mashu

- a conservada en el Centro Internacional de la Papa (CIP). Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 122 p. [CD Rom]. <http://dx.doi.org/10.4160/9789290604310>.
- Martínez, P., Peña, F., Bello, L., Núñez, C., Yee, H., & Velezmoro, C. (2019). Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region. *Food Chemistry*: X, 2, 100030. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100030>
- Medina, J., & Salas, J. (2008). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de ingeniería*, 27, 56-62. <https://doi.org/10.16924/revinge.27.6>
- Meléndez, M. (2002). *Estudio de la hidrólisis enzimática y del proceso fermentativo para la producción de alcohol a partir de yuca, ñame y malanga*. (Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química) Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica
- Miranda, G., y Cuti, S. (2021). *Efecto del acondicionamiento en el contenido de antocianinas totales para la elaboración de una bebida con propiedad funcional a base de mashua morada (tropaeolum tuberosum) de la provincia de Chumbivilcas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio UNAS. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/14644>.
- Moreno Ramirez, D. (2017). *Evaluación del efecto de la presión y temperaturas en la extracción con CO₂ – supercrítico, de glucosinolatos de mashua chispeada (Tropaeolum tuberosum)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4122>.
- Moorthy, S. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch*, 54(12), 559-592.

- Morrison, W. R., & Azudin, M. N. (1987). Variation in the amylose and lipid contents and some physical properties of rice starches. *Journal of Cereal Science*, 5(1), 35-44. [http://dx.doi.org/10.1016/S0733-5210\(87\)80007-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0733-5210(87)80007-3).
- Navarro, G. (2019) *Determinación de la cinética enzimática de la obtención de jarabe de glucosa a partir de papa* (Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Química y Ambiental). Universidad Nacional del Centro del Perú – Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química, Huancayo – Perú.
- NTP 203.OO2-1979. Determinación del contenido de azúcares reductores. Método de Eynon-Lane.
- NTP 208.102: 2014 CONFITERÍA. Determinación de azúcares reductores y sacarosa. 1ª Edición.
- Ordoñez, L. M. (2020). Cultivo de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y sus perspectivas de procesamiento en Angaraes [Trabajo de titulación, Universidad para el Desarrollo Andino]. Repositorio institucional de la Universidad para el Desarrollo Andino. <http://repositorio.udea.edu.pe/handle/UDEA/144>
- Pacheco, M., Moreno, F., Moreno, R., Villamiel, M., & Hernandez, O. (2019). Morphological, technological and nutritional properties of flours and starches from mashua (*Tropaeolum tuberosum*) and melloco (*Ullucus tuberosus*) cultivated in Ecuador. *Food Chemistry*, 301, 1256268. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125268>
- Paredes, L., Guevara, L. y Bello, P. (2009) La Nixtamalización. *Ciencias* 92-93 (Octubre 2008-Marzo 2009): 60-70.

- Palomino Mallma, E. (2018). *Extracción, caracterización funcional y color del almidón de papa nativa de las variedades: Waka waqra, Alq'a wayruru, Phusi k'achun waqachi y Puka viruntus (Solanum tuberosum ssp. andigenum)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José María Arguedas]. Repositorio UNJMA. <https://hdl.handle.net/20.500.14168/427>
- Peña, E. (2017). *Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de Ilave (Puno)* [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Archivo digital. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2655>.
- Quispe, Y. (2018). *Características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua (Tropaeolum tuberosum) de las variedades Amarilla y negra* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José María Arguedas]. Archivo digital. <https://hdl.handle.net/20.500.14168/355>.
- Sánchez, I. (2007). Propiedades fisicoquímicas de almidones catiónicos elaborados por extrusión (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Shendurse, A., & Khedkar, C. (2016). Glucose: Properties and analysis. En *Elsevier eBooks* (pp. 239-247). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00353-6>
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., et al. (2003) Morphological, Thermal and Rheological Properties of Starches from Different Botanical Sources. *Food Chemistry*, 81, 219-231. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)

- Soni, P.; Sharma, H.; Srivasta, H.; Gharia, M. (1990) Physicochemical properties of Canna edulis starch: comparison with maize starch. VCH Verlagsgesellschaft mbh. D-6940, 4-8. Germany
- Solarte-Montúfar, J., Díaz-Murangal, A., Osorio-Mora O., y Mejía-España. D. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. Información Tecnológica, 30(6), 35–44. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000600035>.
- Surco Laos, F. (2004). *Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (Tropaeolum tuberosum), oca (Oxalis tuberosa), olluco (Ullucus tuberosus) para su aplicación tecnológica*. [Tesis para optar el grado académico de Magíster en Ciencias de los Alimentos, UNMSM]
- Temoche, M., Campos, D., Chirinos, R. & Cisneros, L. (2004). Evaluación de los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante presente en 30 genotipos de mashua. Anales Científicos, 57, 229-247.
- Tester, R. F., and Morrison, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose and lipids. Cereal Chem. 67:551.
- Arone Palomino, D. (2019). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y microbiológicas del almidón de arracacha (Arracacia xanthorrhiza) de las variedades blanca, amarilla y morada*. Unajma.edu.pe. <https://hdl.handle.net/20.500.14168/584>.
- Yungán Pinda, A. (2015). *Efecto del método de extracción del almidón de mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pav.) en las características físico-químicas y reológicas* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio UTA. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/15884>.

- 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.
- Velásquez, F., Bello, L., Nuñez, C., Yee, H., & Velezmoro, C. (2021). Relationships among molecular, physicochemical and digestibility characteristics of Andean tuber starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 472-481. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.039>
- Whistler L., Bemiller J., Paschall E. (1984). *Starch: Chemistry and Technology*. Academic Press. Second Edition, pp. 222-232.

ANEXOS

Anexo 1. Pesado de los tubérculos de las variedades de mashua



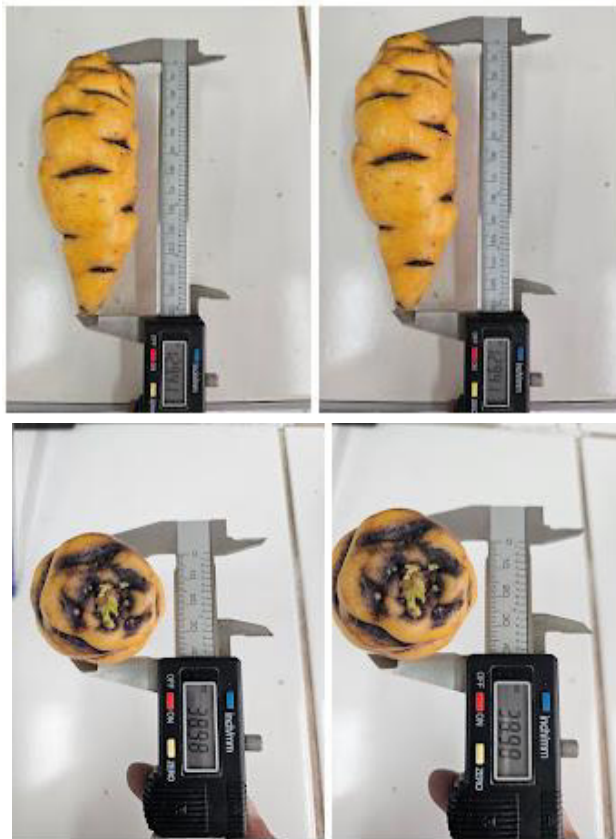
Anexo 2. Lavado y escobillado de la mashua



Anexo 3. Caracterización fisicoquímica del tubérculo de mashua; corte, rebanado, medición de pH y colocación de las rebanadas en placa petri dentro de la estufa.



Anexo 4. Evaluación de longitudes de los tubérculos de mashua



Anexo 5. Pelado de mashua





Anexo 6. Picado, licuado, primera y segunda filtración de mashua



Anexo 7. Tortas residuales frescas



Anexo 8. Obtención de tortas residuales secas (*Amarilla, Negra, “Lágrima de Cristo”* y *“Ojo de paloma”*)



Anexo 9. Reposo de filtrado en 15 H



Anexo 10. Eliminación del sobrenadante del decantado



Anexo 11. Centrifugación de sedimentado.



Anexo 12. Lavados consecutivos de almidón



Anexo 13. Obtención, secado y molienda de almidón



Anexo 14. Sinéresis del almidón



Anexo 15. Temperatura de gelatinización



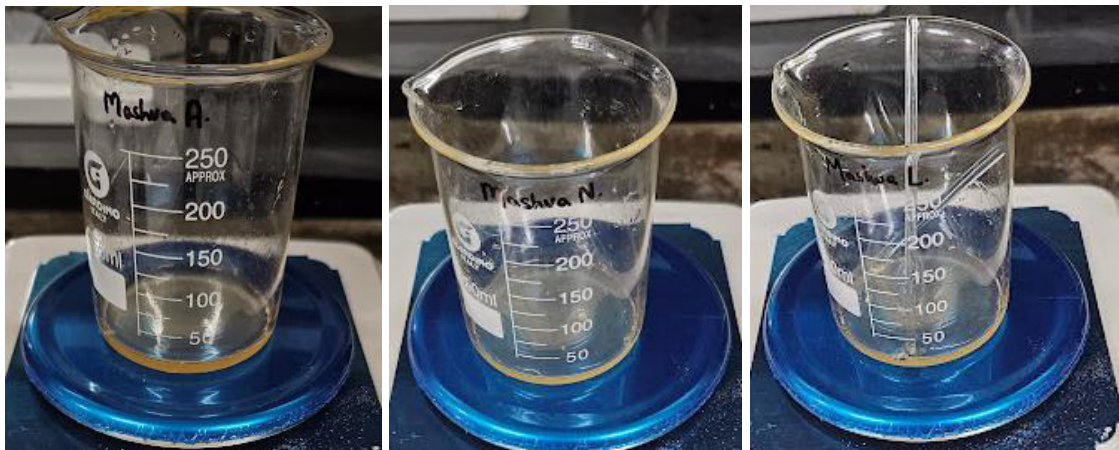
Anexo 16. Hidrólisis de almidón y toma de muestras



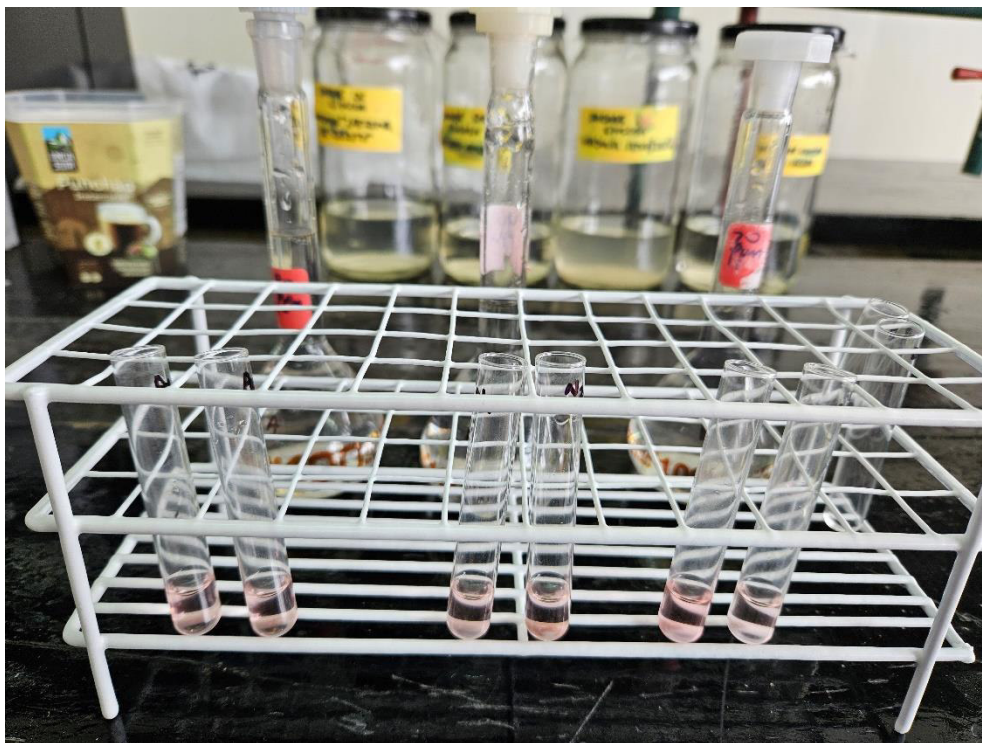
Anexo 17. Titulación para obtención de Equivalente Dextrosa

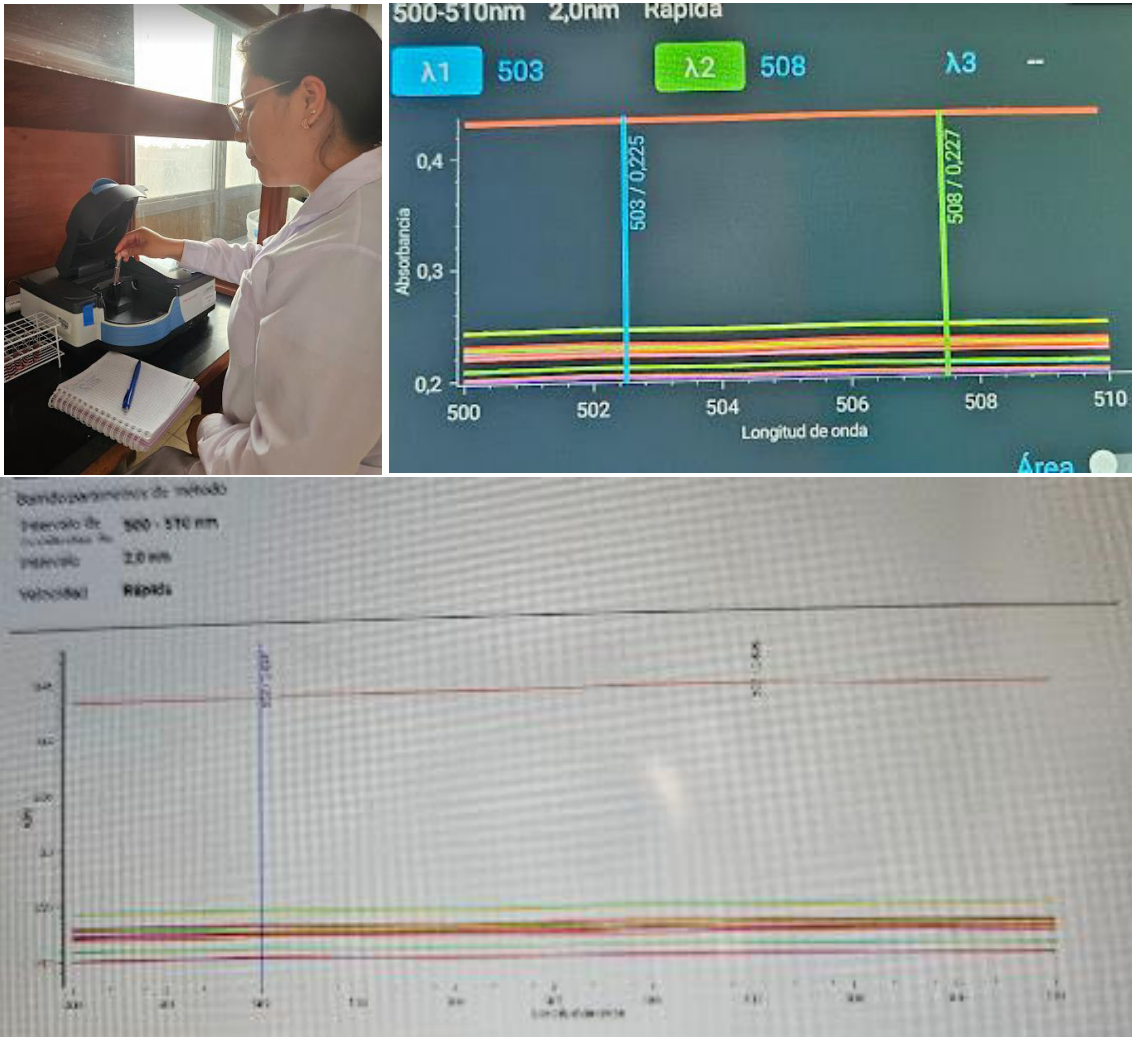


Anexo 18. Obtención del jarabe del jarabe de glucosa, filtrado y concentrado.

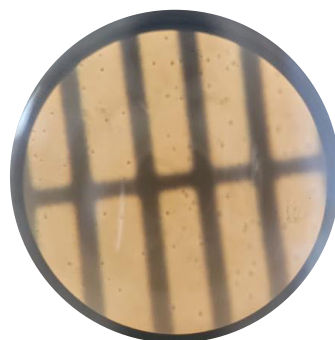


Anexo 19. Determinación de la cantidad de glucosa y espectros





Anexo 19. Calibración para la observación de gránulos de almidón con regla micrométrica



Anexo 20. Evaluación biométrica de las variedades de mashua

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Peso (g)	Entre grupos	4123,377	3	1374,459	3,129	,055
	Dentro de grupos	7028,808	16	439,301		
	Total	11152,185	19			
Longitud (mm)	Entre grupos	344,860	3	114,953	,245	,863
	Dentro de grupos	7492,055	16	468,253		
	Total	7836,915	19			
Diametro mayor (mm)	Entre grupos	97,851	3	32,617	1,598	,229
	Dentro de grupos	326,641	16	20,415		
	Total	424,491	19			

Diametro mayor (mm)

HSD Tukey

Variedad mashua	N	Subconjunto para alfa = 0.05
Mashua Lagrima de Cristo	5	37,5040
Mashua Amarilla	5	38,8840
Mashua Ojo de paloma	5	41,9120
Mashua Negra	5	42,9740
Sig.		,261

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Peso (g)

HSD Tukey

Variedad mashua	N	Subconjunto para alfa = 0.05
Mashua Amarilla	5	55,0220
Mashua Lagrima de Cristo	5	66,3100
Mashua Negra	5	81,2140
Mashua Ojo de paloma	5	92,8000
Sig.		,051

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Longitud (mm)

HSD Tukey

Variedad mashua	N	Subconjunto para alfa = 0.05
Mashua Ojo de paloma	5	102,8440
Mashua Lagrima de Cristo	5	106,8540
Mashua Amarilla	5	111,9260
Mashua Negra	5	113,2680
Sig.		,870

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Anexo 21. Propiedades fisicoquímicas de las cuatro variedades de mashua

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	,087	3	,029	1,822	,221
	Dentro de grupos	,128	8	,016		
	Total	,215	11			
Grados° Brix	Entre grupos	8,789	3	2,930	9,038	,006
	Dentro de grupos	2,593	8	,324		
	Total	11,382	11			
% Humedad	Entre grupos	49,967	3	16,656	4,619	,037
	Dentro de grupos	28,850	8	3,606		
	Total	78,817	11			

pH

HSD Tukey

Variedad mashua	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Mashua Lagrima de Cristo	3	5,79333	
Mashua Negra	3	5,90000	
Mashua Ojo de paloma	3	5,92667	
Mashua Amarilla	3	6,03333	
Sig.		,171	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Grados° Brix

HSD Tukey

Variedad mashua	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Mashua Ojo de paloma	3	4,66667	
Mashua Amarilla	3	5,00000	
Mashua Negra	3	5,33333	
Mashua Lagrima de Cristo	3		6,90000
Sig.		,515	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

% Humedad

HSD Tukey

Variedad mashua	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Mashua Negra	3	87,73967	
Mashua Amarilla	3	90,14667	90,14667
Mashua Lagrima de Cristo	3	91,73167	91,73167
Mashua Ojo de paloma	3		93,25400
Sig.		,121	,263

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Anexo 22. Propiedades funcionales de los almidones extraídos

		ANOVA				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Temperatura gelatinización	Entre grupos	12,685	3	4,228	187,926	,000
	Dentro de grupos	,090	4	,022		
	Total	12,775	7			
Sinéresis	Entre grupos	371,815	3	123,938	39,101	,002
	Dentro de grupos	12,679	4	3,170		
	Total	384,494	7			
IAA	Entre grupos	5,437	3	1,812	,576	,647
	Dentro de grupos	25,184	8	3,148		
	Total	30,621	11			
ISA	Entre grupos	87,579	3	29,193	21,542	,000
	Dentro de grupos	10,841	8	1,355		
	Total	98,420	11			
PH	Entre grupos	8,009	3	2,670	,785	,535
	Dentro de grupos	27,191	8	3,399		
	Total	35,199	11			

Temperatura gelatinización

HSD Tukey

Variedad mashua	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Mashua Amarilla	2	59,8000	
Mashua Ojo de paloma	2		62,6000
Mashua Lagrima de Cristo	2		62,6500
Mashua Negra	2		62,8500
Sig.		1,000	,441

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Sinéresis

HSD Tukey

Variedad mashua	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Mashua Amarilla	2	8,25000	
Mashua Negra	2	10,45000	
Mashua Lagrima de Cristo	2		22,34500
Mashua Ojo de paloma	2		23,40500
Sig.		,640	,928

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Anexo 23. Ficha técnica del kit enzimático de glucosa-oxidasa

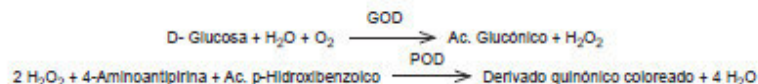
GLUCOSA LIQUIDA

METODO GOD – POD

Para la determinación "in vitro" de la Glucosa en suero o plasma



Principio



Reactivos

Kit 1 x 100 ml (Ref. 99 82 25) Contiene:

A. 1 x 100 ml. Reactivo.

B. 1 x 5 ml. Standard.

Ref. 99 82 84

Ref. 99 02 93

Kit 3 x 100 ml (Ref. 99 82 82) Contiene:

A. 3 x 100 ml. Reactivo.

B. 1 x 5 ml. Standard.

Ref. 99 82 84

Ref. 99 02 93

Kit 4 x 250 ml (Ref. 99 86 60) Contiene:

A. 4 x 250 ml. Reactivo.

B. 1 x 5 ml. Standard.

Ref. 99 01 68

Ref. 99 02 93

Reactivo de trabajo

El reactivo está listo para su uso.

Las concentraciones en la disolución reactiva son:

Tampón fosfato pH 6,8

Ac. p-Hidroxibenzoico

4-Aminoantipirina

Fenol

Glucosa Oxidasa

Peroxidasas

Estabilizantes no reactivos

100 mM

39,5 mM

0,8 mM

4,5 mM

≈ 18 KU/L

≈ 1,1 KU/L

Estándar: Disolución acuosa equivalente a 100 mg de glucosa/dl. (5,55 mmol/L). Listo para su uso

Conservación y estabilidad

Los componentes del kit almacenados a 2-8° C, son estables hasta la fecha de caducidad indicada en la etiqueta.

Muestra

Suero, plasma o L.C.R. La glucosa en suero o plasma (no así en sangre total, a causa de los fenómenos glucolíticos) se conserva como máximo 2-3 días a 2-8° C.

Precauciones

El reactivo contiene Azida sódica al 0,09%, manipular con precaución. La eliminación de residuos debe hacerse según la normativa legal vigente. No pipetear directamente de la botella de reactivo, para evitar contaminaciones no deseadas.

Prestaciones. Características de funcionamiento

Linealidad: Hasta 500 mg de Glucosa/dl. Para concentraciones mayores, diluir la muestra 1/2 con salina (NaCl 0,9%). Multiplicar el resultado por 2. Las características de funcionamiento del producto dependen tanto del reactivo como del sistema de lectura manual o automático empleados. Los siguientes datos se han obtenido de forma manual:

Coefficiente de Variación en la serie: 0,79%

Coefficiente de Variación entre series: 1,33%

Exactitud: 98,9 de porcentaje de recuperación.

La Hemoglobina Interfiere en el ensayo a partir de concentraciones de 200 mg/dl; la Bilirrubina a partir de 20 mg/dl; el Ac. Úrico a partir de 20 mg/dl y la Creatinina a partir de 15 mg/dl.

No se han descrito Interferencias para los anticoagulantes de uso habitual como la Heparina, EDTA u Oxalato.

Control de Calidad

Seriscann Normal (Ref. 99 41 48) y Seriscann Anormal (Ref. 99 46 85).

Autoanalizadores

Adaptaciones a distintos analizadores automáticos, disponibles bajo demanda.

Bibliografía

Trinder, p. (1969). Ann Clin. Chem. 6, 24 – 27

Técnica	BL	PR	ST
	ml	ml	ml
Standard	—	—	0,01
Muestra	—	0,01	—
Reactivo de trabajo	1,00	1,00	1,00

Mezclar e incubar a 37°C 5 - 10 min.
o 20-25 min. a 15 – 25°C.

Lectura

Longitud de onda: Hg 546 nm; 505 nm.

Bianco: el contenido del tubo BL.

Estabilidad del color: un mínimo de 1 hora, al abrigo de la luz solar directa.

Cálculos

Abs. PR

———— x 100 = mg glucosa / dl

Abs. ST

Unidades S.I.

(mg/dL x 0,0555 = mmol/L.

Valores normales

Suero, plasma: 75 - 115 mg/dl.

L.C.R.: 40 - 80 mg/dl.

Anexo 24. Datos de diámetros de gránulos y relación de aspecto

Mashua Amarilla			
Muestra	Diámetro mayor (μm)	Diámetro menor (μm)	Relación de aspecto
1	13	11	0.85
2	9	8	0.89
3	8	7	0.88
4	9	8	0.89
5	9	8	0.89
6	11	11	1.00
7	11	9	0.82
8	7	7	1.00
9	7	6	0.86
10	10	9	0.90
11	8	7	0.88
12	10	8	0.80
13	10	8	0.80
14	9	7	0.78
15	13	10	0.77
16	12	12	1.00
17	7	6	0.86
18	11	8	0.73
19	15	9	0.60
20	15	11	0.73
21	7	6	0.86
22	6	6	1.00
23	11	11	1.00
24	9	8	0.89
25	9	8	0.89
26	14	12	0.86
27	21	10	0.48
28	13	10	0.77
29	10	9	0.90
30	7	6	0.86
31	8	8	1.00
32	9	9	1.00
33	8	7	0.88
34	15	14	0.93
35	17	11	0.65
36	10	9	0.90
37	9	9	1.00
38	13	9	0.69
39	6	6	1.00

40	21	17	0.81
41	9	7	0.78
42	7	6	0.86
43	8	7	0.88
44	12	10	0.83
45	19	9	0.47
46	17	13	0.76
47	10	9	0.90
48	11	8	0.73
49	9	7	0.78
50	6	6	1.00
51	16	14	0.88
52	15	13	0.87
53	10	7	0.70
54	12	9	0.75
55	24	13	0.54
56	13	8	0.62
57	11	8	0.73
58	8	7	0.88
59	7	6	0.86
60	9	9	1.00
61	22	12	0.55
62	11	10	0.91
63	14	11	0.79
64	7	6	0.86
65	12	6	0.50
66	16	8	0.50
67	7	5	0.71
68	16	11	0.69
69	14	8	0.57
70	9	7	0.78
71	7	6	0.86
72	12	12	1.00
73	6	5	0.83
74	20	17	0.85
75	9	8	0.89
76	11	9	0.82
77	7	5	0.71
78	9	8	0.89
79	7	6	0.86
80	14	11	0.79
81	16	11	0.69

82	17	15	0.88
83	15	14	0.93
84	22	13	0.59
85	10	7	0.70
86	15	10	0.67
87	13	10	0.77
88	14	13	0.93
89	13	8	0.62
90	10	9	0.90
91	13	7	0.54
92	14	11	0.79
93	12	11	0.92
94	16	12	0.75
95	17	16	0.94
96	12	10	0.83
97	13	12	0.92
98	18	14	0.78
99	8	6	0.75
100	14	7	0.50
101	12	11	0.92
102	8	7	0.88
103	16	15	0.94
104	20	16	0.80
105	12	12	1.00
106	14	10	0.71
107	8	8	1.00
108	7	6	0.86
109	8	7	0.88
110	9	9	1.00
111	9	6	0.67
112	9	8	0.89
113	8	8	1.00
114	8	8	1.00
115	11	8	0.73
116	21	11	0.52
117	16	15	0.94
118	16	14	0.88
119	6	5	0.83
120	8	7	0.88
121	9	9	1.00
122	15	14	0.93
123	8	7	0.88

124	12	12	1.00
125	14	12	0.86
126	12	9	0.75
127	13	8	0.62
128	24	10	0.42
129	10	9	0.90
130	15	11	0.73
131	12	11	0.92
132	14	12	0.86
133	14	13	0.93
134	10	9	0.90
135	11	9	0.82
136	8	8	1.00
137	7	7	1.00
138	17	13	0.76
139	16	14	0.88
140	17	13	0.76
141	10	7	0.70
142	17	17	1.00
143	13	8	0.62
144	14	13	0.93
145	5	5	1.00
146	8	7	0.88
147	14	11	0.79
148	12	11	0.92
149	12	11	0.92
150	11	10	0.91
151	16	10	0.63
152	12	9	0.75
153	11	11	1.00
154	15	11	0.73
155	17	16	0.94
156	9	9	1.00
157	17	14	0.82
158	9	8	0.89
159	22	15	0.68
160	39	19	0.49
161	13	11	0.85
162	17	13	0.76
163	10	10	1.00
164	30	27	0.90
165	18	15	0.83

166	14	12	0.86
167	12	10	0.83
168	21	13	0.62
169	11	11	1.00
170	20	18	0.90
171	18	15	0.83
172	16	12	0.75
173	17	16	0.94
174	12	5	0.42
175	13	13	1.00
176	10	8	0.80
177	9	9	1.00
178	10	8	0.80
179	15	14	0.93
180	14	11	0.79
181	13	13	1.00
182	10	9	0.90
183	15	11	0.73
184	10	9	0.90
185	13	10	0.77
186	19	17	0.89
187	14	13	0.93
188	11	10	0.91
189	18	12	0.67
190	16	16	1.00
191	23	13	0.57
192	11	11	1.00
193	14	13	0.93
194	18	17	0.94
195	16	10	0.63
196	22	14	0.64
197	14	13	0.93
198	18	11	0.61
199	10	8	0.80
200	16	15	0.94
201	10	8	0.80
202	16	16	1.00
203	15	10	0.67
204	7	7	1.00
205	10	8	0.80
206	9	9	1.00
207	17	14	0.82

208	7	5	0.71
209	17	13	0.76
210	17	16	0.94
211	12	10	0.83
212	28	13	0.46
213	13	10	0.77
214	9	9	1.00
215	9	8	0.89
216	15	12	0.80
217	22	11	0.50
218	13	10	0.77
219	13	12	0.92
220	18	10	0.56
221	20	12	0.60
222	18	10	0.56
223	11	10	0.91
224	18	9	0.50
225	16	10	0.63
226	14	8	0.57
227	16	15	0.94
228	17	16	0.94
229	23	19	0.83
230	9	7	0.78
231	11	9	0.82
232	6	6	1.00
233	24	22	0.92
234	9	8	0.89
235	7	6	0.86
236	7	6	0.86
237	6	5	0.83
238	14	13	0.93
239	7	6	0.86
240	7	7	1.00
241	14	11	0.79
242	11	10	0.91
243	15	14	0.93
244	7	7	1.00
245	14	10	0.71
246	11	8	0.73
247	11	9	0.82
248	20	14	0.70
249	11	6	0.55

250	7	7	1.00
251	12	12	1.00
252	10	9	0.90
253	6	6	1.00
254	12	9	0.75
255	13	11	0.85
256	12	10	0.83
257	14	11	0.79
258	7	6	0.86
259	13	12	0.92
260	11	11	1.00
261	10	8	0.80
262	7	7	1.00
263	10	8	0.80
264	27	24	0.89
265	21	12	0.57
266	10	8	0.80
267	15	9	0.60
268	10	8	0.80
269	16	15	0.94
270	16	15	0.94
271	13	11	0.85
272	7	7	1.00
273	8	7	0.88
274	12	12	1.00
275	9	9	1.00
276	7	6	0.86
277	7	6	0.86
278	13	10	0.77
279	11	9	0.82
280	12	10	0.83
281	10	10	1.00
282	10	6	0.60
283	8	8	1.00
284	14	12	0.86
285	13	12	0.92
286	6	6	1.00
287	17	10	0.59
288	13	9	0.69
289	10	6	0.60
290	11	10	0.91
291	10	10	1.00

292	13	11	0.85
293	9	8	0.89
294	13	12	0.92
295	16	15	0.94
296	16	15	0.94
297	20	12	0.60
298	18	10	0.56
299	13	12	0.92
300	11	11	1.00

<i>Mashua Negra</i>			
Muestra	Diámetro mayor (μm)	Diámetro menor (μm)	Relación de aspecto
1	11	9	0.82
2	8	7	0.88
3	12	12	1.00
4	9	8	0.89
5	7	6	0.86
6	8	7	0.88
7	7	6	0.86
8	7	6	0.86
9	8	8	1.00
10	7	7	1.00
11	8	8	1.00
12	5	5	1.00
13	7	6	0.86
14	5	5	1.00
15	9	8	0.89
16	5	5	1.00
17	7	6	0.86
18	9	8	0.89
19	5	5	1.00
20	7	7	1.00
21	7	6	0.86
22	5	5	1.00
23	11	10	0.91
24	8	8	1.00
25	6	6	1.00
26	7	7	1.00
27	6	5	0.83
28	12	10	0.83
29	5	5	1.00
30	6	5	0.83

31	11	9	0.82
32	8	7	0.88
33	5	4	0.80
34	8	7	0.88
35	13	11	0.85
36	14	12	0.86
37	7	7	1.00
38	14	13	0.93
39	7	7	1.00
40	6	5	0.83
41	14	13	0.93
42	7	6	0.86
43	7	6	0.86
44	11	10	0.91
45	5	5	1.00
46	16	14	0.88
47	13	9	0.69
48	11	8	0.73
49	6	6	1.00
50	13	12	0.92
51	15	11	0.73
52	10	8	0.80
53	16	16	1.00
54	7	7	1.00
55	8	7	0.88
56	9	8	0.89
57	7	6	0.86
58	15	12	0.80
59	12	12	1.00
60	10	9	0.90
61	10	8	0.80
62	12	11	0.92
63	13	11	0.85
64	7	6	0.86
65	10	7	0.70
66	9	9	1.00
67	8	5	0.63
68	9	9	1.00
69	9	9	1.00
70	8	5	0.63
71	11	9	0.82
72	11	10	0.91

73	8	6	0.75
74	8	7	0.88
75	9	8	0.89
76	8	7	0.88
77	9	9	1.00
78	10	9	0.90
79	8	8	1.00
80	9	6	0.67
81	9	8	0.89
82	8	6	0.75
83	10	9	0.90
84	6	5	0.83
85	8	8	1.00
86	6	6	1.00
87	11	9	0.82
88	6	5	0.83
89	7	6	0.86
90	8	7	0.88
91	6	6	1.00
92	5	4	0.80
93	12	11	0.92
94	13	8	0.62
95	5	5	1.00
96	11	10	0.91
97	11	9	0.82
98	6	6	1.00
99	5	5	1.00
100	7	6	0.86
101	10	9	0.90
102	9	8	0.89
103	7	7	1.00
104	11	10	0.91
105	8	8	1.00
106	10	9	0.90
107	8	8	1.00
108	6	6	1.00
109	6	6	1.00
110	15	11	0.73
111	8	7	0.88
112	9	8	0.89
113	7	6	0.86
114	15	10	0.67

115	7	6	0.86
116	9	8	0.89
117	6	6	1.00
118	5	5	1.00
119	5	4	0.80
120	12	11	0.92
121	6	5	0.83
122	5	5	1.00
123	8	7	0.88
124	10	10	1.00
125	6	5	0.83
126	11	10	0.91
127	8	7	0.88
128	8	8	1.00
129	13	12	0.92
130	6	6	1.00
131	11	8	0.73
132	10	7	0.70
133	9	5	0.56
134	12	10	0.83
135	7	7	1.00
136	16	16	1.00
137	11	10	0.91
138	5	5	1.00
139	6	5	0.83
140	6	5	0.83
141	7	7	1.00
142	9	8	0.89
143	6	6	1.00
144	7	7	1.00
145	14	11	0.79
146	5	5	1.00
147	11	10	0.91
148	14	12	0.86
149	13	12	0.92
150	9	8	0.89
151	6	5	0.83
152	8	7	0.88
153	13	10	0.77
154	13	11	0.85
155	12	10	0.83
156	8	8	1.00

157	7	7	1.00
158	7	7	1.00
159	8	8	1.00
160	7	7	1.00
161	10	9	0.90
162	9	7	0.78
163	10	7	0.70
164	8	8	1.00
165	11	9	0.82
166	14	10	0.71
167	9	8	0.89
168	7	7	1.00
169	6	5	0.83
170	11	9	0.82
171	13	11	0.85
172	7	5	0.71
173	9	8	0.89
174	10	9	0.90
175	6	6	1.00
176	7	6	0.86
177	9	8	0.89
178	9	8	0.89
179	11	10	0.91
180	9	8	0.89
181	11	11	1.00
182	8	5	0.63
183	11	9	0.82
184	7	6	0.86
185	8	6	0.75
186	5	4	0.80
187	5	5	1.00
188	6	5	0.83
189	7	7	1.00
190	11	10	0.91
191	7	7	1.00
192	8	7	0.88
193	11	10	0.91
194	10	9	0.90
195	5	5	1.00
196	13	11	0.85
197	11	6	0.55
198	9	8	0.89

199	8	5	0.63
200	6	5	0.83
201	10	8	0.80
202	12	9	0.75
203	5	5	1.00
204	8	7	0.88
205	14	13	0.93
206	9	8	0.89
207	10	10	1.00
208	12	11	0.92
209	8	6	0.75
210	14	11	0.79
211	17	14	0.82
212	16	12	0.75
213	14	13	0.93
214	15	15	1.00
215	14	12	0.86
216	11	11	1.00
217	7	6	0.86
218	9	7	0.78
219	12	11	0.92
220	10	9	0.90
221	4	4	1.00
222	11	11	1.00
223	12	12	1.00
224	21	18	0.86
225	8	8	1.00
226	14	13	0.93
227	9	7	0.78
228	14	13	0.93
229	15	14	0.93
230	15	13	0.87
231	11	10	0.91
232	14	12	0.86
233	8	8	1.00
234	11	9	0.82
235	8	7	0.88
236	16	15	0.94
237	13	11	0.85
238	10	9	0.90
239	7	6	0.86
240	10	10	1.00

241	10	8	0.80
242	10	10	1.00
243	10	7	0.70
244	7	6	0.86
245	14	12	0.86
246	6	6	1.00
247	8	8	1.00
248	16	16	1.00
249	12	11	0.92
250	14	13	0.93
251	16	15	0.94
252	13	12	0.92
253	7	6	0.86
254	10	9	0.90
255	13	12	0.92
256	13	11	0.85
257	15	12	0.80
258	5	5	1.00
259	10	9	0.90
260	14	13	0.93
261	11	10	0.91
262	15	14	0.93
263	12	10	0.83
264	7	5	0.71
265	13	12	0.92
266	14	14	1.00
267	14	11	0.79
268	22	16	0.73
269	13	12	0.92
270	14	13	0.93
271	10	9	0.90
272	15	12	0.80
273	11	9	0.82
274	6	5	0.83
275	13	11	0.85
276	9	6	0.67
277	18	16	0.89
278	12	11	0.92
279	12	10	0.83
280	10	7	0.70
281	18	16	0.89
282	16	13	0.81

283	11	9	0.82
284	8	7	0.88
285	8	8	1.00
286	16	13	0.81
287	19	19	1.00
288	6	6	1.00
289	12	11	0.92
290	9	8	0.89
291	7	5	0.71
292	10	9	0.90
293	12	9	0.75
294	10	6	0.60
295	10	8	0.80
296	10	10	1.00
297	9	8	0.89
298	13	12	0.92
299	9	9	1.00
300	13	9	0.69

Mashua "Lágrima de Cristo"			
Muestra	Diámetro mayor (µm)	Diámetro menor (µm)	Relación de aspecto
1	9	9	1.00
2	14	13	0.93
3	7	7	1.00
4	6	5	0.83
5	11	9	0.82
6	9	8	0.89
7	13	10	0.77
8	13	9	0.69
9	13	11	0.85
10	7	5	0.71
11	12	11	0.92
12	6	5	0.83
13	12	10	0.83
14	11	11	1.00
15	10	10	1.00
16	8	7	0.88
17	11	7	0.64
18	10	9	0.90
19	15	14	0.93
20	11	7	0.64
21	6	5	0.83

22	12	11	0.92
23	11	10	0.91
24	7	6	0.86
25	9	8	0.89
26	21	20	0.95
27	9	8	0.89
28	17	15	0.88
29	7	6	0.86
30	10	8	0.80
31	10	10	1.00
32	9	8	0.89
33	9	9	1.00
34	7	6	0.86
35	15	10	0.67
36	9	9	1.00
37	8	8	1.00
38	17	12	0.71
39	12	10	0.83
40	12	11	0.92
41	10	8	0.80
42	7	6	0.86
43	9	9	1.00
44	7	6	0.86
45	8	7	0.88
46	10	7	0.70
47	13	7	0.54
48	9	8	0.89
49	15	11	0.73
50	11	10	0.91
51	13	13	1.00
52	11	10	0.91
53	14	13	0.93
54	16	13	0.81
55	13	7	0.54
56	10	7	0.70
57	13	11	0.85
58	13	12	0.92
59	11	9	0.82
60	11	9	0.82
61	7	5	0.71
62	6	6	1.00
63	14	10	0.71

64	10	10	1.00
65	6	6	1.00
66	11	9	0.82
67	11	5	0.45
68	8	8	1.00
69	6	5	0.83
70	15	14	0.93
71	6	6	1.00
72	7	7	1.00
73	14	10	0.71
74	10	9	0.90
75	7	7	1.00
76	9	9	1.00
77	16	16	1.00
78	11	9	0.82
79	6	5	0.83
80	14	10	0.71
81	6	6	1.00
82	12	8	0.67
83	9	8	0.89
84	6	6	1.00
85	9	9	1.00
86	5	5	1.00
87	7	6	0.86
88	10	8	0.80
89	6	5	0.83
90	16	15	0.94
91	8	7	0.88
92	6	6	1.00
93	14	13	0.93
94	10	8	0.80
95	18	11	0.61
96	13	11	0.85
97	10	9	0.90
98	8	7	0.88
99	10	6	0.60
100	13	11	0.85
101	9	8	0.89
102	13	10	0.77
103	8	7	0.88
104	18	15	0.83
105	14	13	0.93

106	12	12	1.00
107	6	6	1.00
108	9	7	0.78
109	16	14	0.88
110	8	7	0.88
111	10	9	0.90
112	10	10	1.00
113	7	5	0.71
114	7	6	0.86
115	9	9	1.00
116	8	8	1.00
117	19	16	0.84
118	10	10	1.00
119	11	10	0.91
120	19	13	0.68
121	10	8	0.80
122	8	7	0.88
123	7	7	1.00
124	12	12	1.00
125	13	11	0.85
126	14	14	1.00
127	14	12	0.86
128	16	12	0.75
129	11	10	0.91
130	13	10	0.77
131	9	9	1.00
132	8	7	0.88
133	8	6	0.75
134	11	11	1.00
135	9	9	1.00
136	11	11	1.00
137	9	8	0.89
138	14	11	0.79
139	13	10	0.77
140	15	10	0.67
141	13	11	0.85
142	11	10	0.91
143	6	5	0.83
144	7	6	0.86
145	9	8	0.89
146	4	4	1.00
147	7	7	1.00

148	13	11	0.85
149	14	12	0.86
150	9	8	0.89
151	13	9	0.69
152	15	14	0.93
153	15	11	0.73
154	10	9	0.90
155	9	8	0.89
156	10	8	0.80
157	6	5	0.83
158	16	15	0.94
159	8	7	0.88
160	8	8	1.00
161	10	10	1.00
162	12	8	0.67
163	9	8	0.89
164	8	7	0.88
165	8	7	0.88
166	10	10	1.00
167	14	11	0.79
168	15	11	0.73
169	7	7	1.00
170	9	8	0.89
171	9	8	0.89
172	14	13	0.93
173	12	11	0.92
174	9	8	0.89
175	15	14	0.93
176	18	14	0.78
177	10	9	0.90
178	9	7	0.78
179	7	6	0.86
180	9	6	0.67
181	9	9	1.00
182	17	9	0.53
183	17	14	0.82
184	14	10	0.71
185	14	10	0.71
186	8	7	0.88
187	14	10	0.71
188	8	6	0.75
189	14	12	0.86

190	7	6	0.86
191	4	4	1.00
192	6	5	0.83
193	10	8	0.80
194	13	11	0.85
195	8	6	0.75
196	7	7	1.00
197	12	10	0.83
198	9	8	0.89
199	8	8	1.00
200	8	7	0.88
201	6	5	0.83
202	5	5	1.00
203	12	12	1.00
204	7	7	1.00
205	11	9	0.82
206	10	7	0.70
207	14	12	0.86
208	12	11	0.92
209	9	9	1.00
210	7	6	0.86
211	8	7	0.88
212	10	9	0.90
213	13	13	1.00
214	12	10	0.83
215	8	8	1.00
216	13	13	1.00
217	10	9	0.90
218	12	10	0.83
219	14	11	0.79
220	7	7	1.00
221	6	5	0.83
222	16	16	1.00
223	15	13	0.87
224	10	9	0.90
225	15	12	0.80
226	13	13	1.00
227	6	6	1.00
228	15	11	0.73
229	11	10	0.91
230	10	9	0.90
231	8	8	1.00

232	10	8	0.80
233	8	7	0.88
234	8	7	0.88
235	11	8	0.73
236	8	7	0.88
237	10	9	0.90
238	12	10	0.83
239	11	11	1.00
240	13	12	0.92
241	12	9	0.75
242	7	7	1.00
243	7	6	0.86
244	12	6	0.50
245	17	13	0.76
246	17	14	0.82
247	18	13	0.72
248	11	9	0.82
249	11	9	0.82
250	17	13	0.76
251	9	8	0.89
252	15	13	0.87
253	9	9	1.00
254	14	13	0.93
255	5	5	1.00
256	13	9	0.69
257	13	8	0.62
258	12	9	0.75
259	10	9	0.90
260	13	8	0.62
261	17	6	0.35
262	5	5	1.00
263	6	6	1.00
264	18	13	0.72
265	5	4	0.80
266	11	10	0.91
267	14	11	0.79
268	14	10	0.71
269	8	6	0.75
270	7	7	1.00
271	6	6	1.00
272	8	6	0.75
273	7	6	0.86

274	10	9	0.90
275	8	5	0.63
276	9	8	0.89
277	7	6	0.86
278	19	13	0.68
279	8	8	1.00
280	10	10	1.00
281	8	7	0.88
282	6	6	1.00
283	19	12	0.63
284	13	8	0.62
285	5	5	1.00
286	5	4	0.80
287	5	4	0.80
288	6	4	0.67
289	8	7	0.88
290	8	6	0.75
291	8	5	0.63
292	8	8	1.00
293	16	9	0.56
294	7	6	0.86
295	6	5	0.83
296	7	6	0.86
297	13	10	0.77
298	7	6	0.86
299	6	4	0.67
300	7	6	0.86

Mashua "Ojo de paloma"			
Muestra	Diámetro mayor (µm)	Diámetro menor (µm)	Relación de aspecto
1	8	7	0.88
2	6	5	0.83
3	6	6	1.00
4	9	8	0.89
5	5	4	0.80
6	8	7	0.88
7	9	8	0.89
8	11	10	0.91
9	5	4	0.80
10	9	7	0.78
11	5	4	0.80
12	7	4	0.57

13	13	7	0.54
14	8	6	0.75
15	11	8	0.73
16	13	11	0.85
17	9	7	0.78
18	7	5	0.71
19	7	4	0.57
20	9	6	0.67
21	8	6	0.75
22	4	3	0.75
23	4	3	0.75
24	6	5	0.83
25	22	20	0.91
26	8	8	1.00
27	8	8	1.00
28	7	6	0.86
29	6	6	1.00
30	9	7	0.78
31	8	8	1.00
32	10	6	0.60
33	7	6	0.86
34	6	4	0.67
35	6	5	0.83
36	13	10	0.77
37	8	6	0.75
38	6	5	0.83
39	13	7	0.54
40	5	5	1.00
41	4	4	1.00
42	4	4	1.00
43	10	5	0.50
44	10	6	0.60
45	7	6	0.86
46	17	8	0.47
47	11	8	0.73
48	11	8	0.73
49	6	5	0.83
50	7	5	0.71
51	6	6	1.00
52	6	6	1.00
53	5	4	0.80
54	8	6	0.75

55	8	8	1.00
56	6	6	1.00
57	7	5	0.71
58	6	6	1.00
59	6	6	1.00
60	7	6	0.86
61	7	6	0.86
62	9	7	0.78
63	6	5	0.83
64	5	4	0.80
65	8	7	0.88
66	9	7	0.78
67	7	6	0.86
68	10	5	0.50
69	8	7	0.88
70	5	5	1.00
71	13	12	0.92
72	12	5	0.42
73	7	5	0.71
74	13	11	0.85
75	7	5	0.71
76	6	6	1.00
77	5	4	0.80
78	7	4	0.57
79	11	10	0.91
80	12	11	0.92
81	8	7	0.88
82	9	9	1.00
83	11	11	1.00
84	13	9	0.69
85	20	14	0.70
86	6	6	1.00
87	7	7	1.00
88	8	6	0.75
89	7	6	0.86
90	21	20	0.95
91	8	7	0.88
92	9	7	0.78
93	11	9	0.82
94	11	10	0.91
95	11	11	1.00
96	14	12	0.86

97	5	5	1.00
98	6	5	0.83
99	6	6	1.00
100	19	15	0.79
101	9	5	0.56
102	6	4	0.67
103	6	6	1.00
104	7	7	1.00
105	12	9	0.75
106	5	4	0.80
107	18	13	0.72
108	8	7	0.88
109	9	5	0.56
110	8	7	0.88
111	8	8	1.00
112	7	6	0.86
113	10	9	0.90
114	5	5	1.00
115	8	6	0.75
116	7	6	0.86
117	9	8	0.89
118	6	6	1.00
119	8	8	1.00
120	14	7	0.50
121	9	9	1.00
122	10	8	0.80
123	18	14	0.78
124	12	8	0.67
125	12	9	0.75
126	7	7	1.00
127	19	19	1.00
128	7	7	1.00
129	10	10	1.00
130	12	7	0.58
131	10	9	0.90
132	11	9	0.82
133	11	10	0.91
134	7	7	1.00
135	9	9	1.00
136	7	6	0.86
137	8	7	0.88
138	7	6	0.86

139	6	5	0.83
140	10	7	0.70
141	8	6	0.75
142	10	9	0.90
143	9	9	1.00
144	9	8	0.89
145	10	6	0.60
146	15	12	0.80
147	7	6	0.86
148	7	6	0.86
149	5	4	0.80
150	9	7	0.78
151	8	7	0.88
152	8	7	0.88
153	14	11	0.79
154	11	7	0.64
155	7	7	1.00
156	7	7	1.00
157	9	9	1.00
158	15	12	0.80
159	6	5	0.83
160	3	3	1.00
161	8	5	0.63
162	6	6	1.00
163	8	6	0.75
164	10	9	0.90
165	10	10	1.00
166	9	9	1.00
167	10	8	0.80
168	11	9	0.82
169	8	7	0.88
170	8	7	0.88
171	9	9	1.00
172	10	10	1.00
173	14	12	0.86
174	5	5	1.00
175	4	3	0.75
176	20	19	0.95
177	9	8	0.89
178	20	15	0.75
179	13	12	0.92
180	6	5	0.83

181	9	8	0.89
182	11	10	0.91
183	8	6	0.75
184	9	7	0.78
185	9	9	1.00
186	12	9	0.75
187	10	9	0.90
188	9	8	0.89
189	5	5	1.00
190	12	8	0.67
191	9	6	0.67
192	9	8	0.89
193	7	6	0.86
194	10	8	0.80
195	8	7	0.88
196	12	11	0.92
197	11	7	0.64
198	8	8	1.00
199	10	10	1.00
200	7	6	0.86
201	13	13	1.00
202	7	5	0.71
203	9	9	1.00
204	8	6	0.75
205	6	6	1.00
206	6	6	1.00
207	9	9	1.00
208	5	4	0.80
209	4	2	0.50
210	5	5	1.00
211	6	6	1.00
212	10	9	0.90
213	8	8	1.00
214	9	8	0.89
215	8	7	0.88
216	10	9	0.90
217	12	8	0.67
218	7	6	0.86
219	10	8	0.80
220	11	10	0.91
221	15	9	0.60
222	5	5	1.00

223	7	6	0.86
224	8	7	0.88
225	6	6	1.00
226	4	4	1.00
227	7	7	1.00
228	7	7	1.00
229	10	7	0.70
230	3	3	1.00
231	7	7	1.00
232	6	6	1.00
233	12	7	0.58
234	13	10	0.77
235	7	7	1.00
236	8	7	0.88
237	7	7	1.00
238	16	10	0.63
239	7	6	0.86
240	13	9	0.69
241	10	9	0.90
242	5	5	1.00
243	8	7	0.88
244	6	5	0.83
245	10	9	0.90
246	5	4	0.80
247	8	6	0.75
248	3	2	0.67
249	2	2	1.00
250	9	5	0.56
251	6	6	1.00
252	7	6	0.86
253	10	8	0.80
254	15	10	0.67
255	4	3	0.75
256	18	14	0.78
257	10	10	1.00
258	9	7	0.78
259	10	9	0.90
260	7	7	1.00
261	8	8	1.00
262	10	8	0.80
263	7	7	1.00
264	12	9	0.75

265	11	10	0.91
266	8	7	0.88
267	7	6	0.86
268	10	10	1.00
269	4	3	0.75
270	4	4	1.00
271	5	5	1.00
272	8	8	1.00
273	9	7	0.78
274	6	6	1.00
275	4	4	1.00
276	10	8	0.80
277	5	5	1.00
278	5	4	0.80
279	7	6	0.86
280	3	3	1.00
281	6	6	1.00
282	9	9	1.00
283	5	3	0.60
284	9	7	0.78
285	5	4	0.80
286	8	8	1.00
287	5	4	0.80
288	8	7	0.88
289	4	4	1.00
290	9	9	1.00
291	5	5	1.00
292	10	6	0.60
293	8	6	0.75
294	8	7	0.88
295	5	4	0.80
296	3	3	1.00
297	7	7	1.00
298	8	6	0.75
299	4	4	1.00
300	12	11	0.92

Anexo 25. Tabla de frecuencias de diámetros de gránulos

Diámetro mayor de mashua <i>Amarilla</i>			
N° de clase	L inferior	L superior	Frecuencia
1	5.0	9.0	83
2	9.0	13.0	104
3	13.0	17.0	76
4	17.0	21.0	23
5	21.0	25.0	10
6	25.0	29.0	2
7	29.0	33.0	1
8	33.0	37.0	0
9	37.0	41.0	1

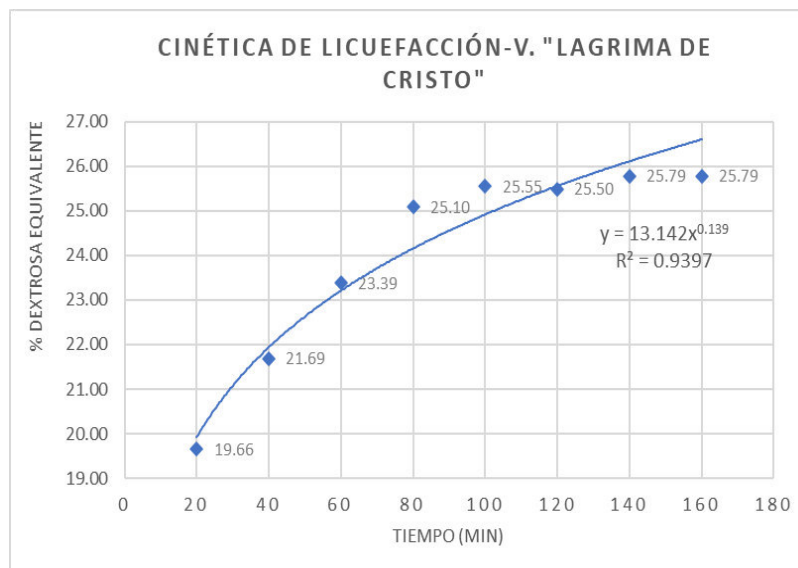
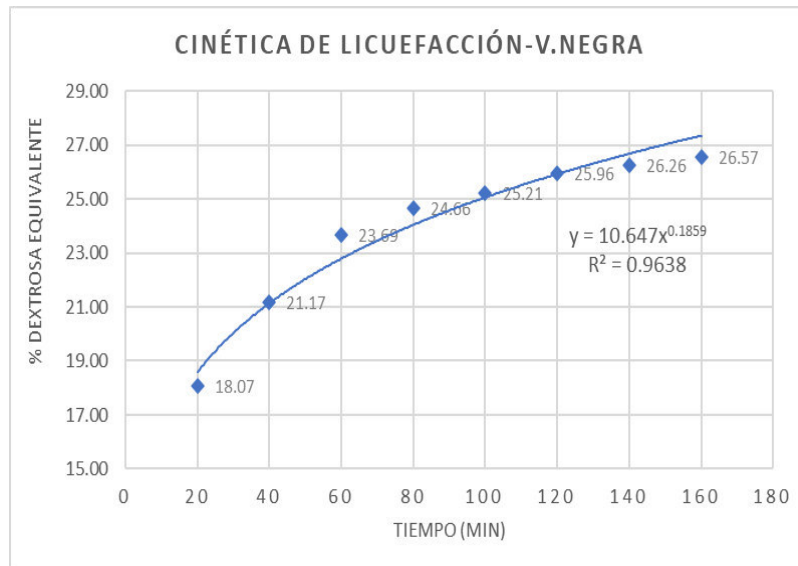
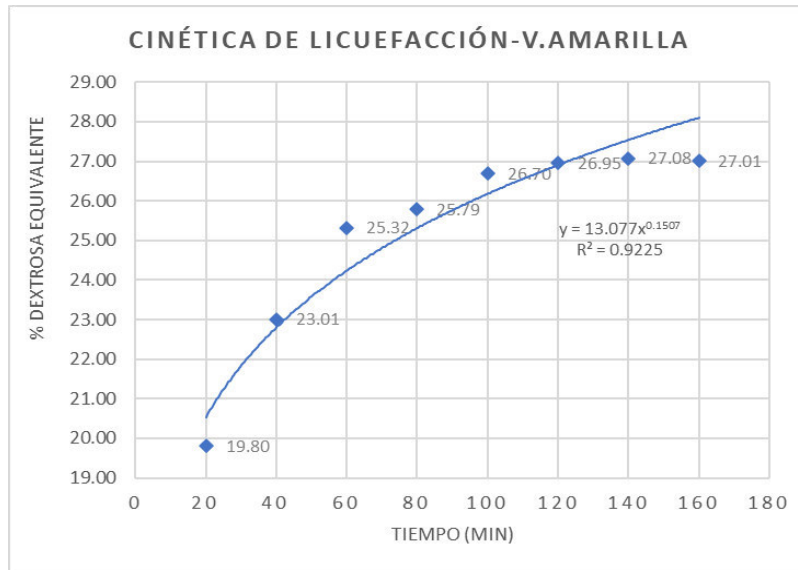
Diámetro mayor <i>Negra</i>			
N° de clase	L inferior	L superior	Frecuencia
1	4.0	6.0	49
2	6.0	8.0	78
3	8.0	10.0	61
4	10.0	12.0	48
5	12.0	14.0	39
6	14.0	16.0	19
7	16.0	18.0	3
8	18.0	20.0	1
9	20.0	22.0	2

Diámetro mayor mashua "<i>Lágrima de Cristo</i>"			
N° de clase	L inferior	L superior	Frecuencia
1	4.0	6.0	35
2	6.0	8.0	68
3	8.0	10.0	66
4	10.0	12.0	43
5	12.0	14.0	49
6	14.0	16.0	21
7	16.0	18.0	13
8	18.0	20.0	4
9	20.0	22.0	1

Diámetro mayor mashua "<i>Ojo de paloma</i>"			
N° de clase	L inferior	L superior	Frecuencia
1	2.0	4.0	19
2	4.0	6.0	61
3	6.0	8.0	91
4	8.0	10.0	68
5	10.0	12.0	30
6	12.0	14.0	15
7	14.0	16.0	5
8	16.0	18.0	4

9	18.0	20.0	5
10	20.0	22.0	2

Anexo 25. Ecuaciones de conversión cinética de la etapa de licuefacción



Anexo 26. Ecuaciones de conversión cinética de la etapa de sacarificación

