

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería de Alimentos



Una Institución Adventista

Extracción y caracterización de almidón de las semillas de lúcuma
(*Pouteria lúcuma*)

Por:

Miraya Esmeralda Cari Bellido

Asesor:

Ing. Alex Danny Chambi Rodríguez

Coasesor:

Dr. Augusto Pumacahua Ramos

Juliaca, noviembre de 2018

DECLARACION JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Alex Danny Chambi Rodríguez, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Alimentos, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ALMIDÓN DE LAS SEMILLAS DE LÚCUMA (*Pouteria lúcum*a)" constituye la memoria que presenta la bachiller Miraya Esmeralda Cari Bellido para aspirar al título Profesional de Ingeniero de Alimentos ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca a los veinte días del mes de noviembre del año dos mil dieciocho.



Ing. Alex Danny Chambi Rodríguez

Extracción y caracterización de almidón de las semillas de lúcuma
(*Pouteria lúcuma*)

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero de Alimentos

JURADO CALIFICADOR



Mg. Efraín Velásquez Mamani

Presidente



Ing. Enrique Mamani Cuela

Secretario



Ing. Ana Mónica Torres Jimenez

Vocal



Ing. Edgar Mayta Pinto

Vocal



Ing. Alex Danny Chambi Rodriguez

Asesor

Juliaca, 15 de Noviembre de 2018

DEDICATORIA:

Esta tesis la dedico a mi Dios todopoderoso, por ser mi Fuente, mi mano derecha, mi sustento, el que me ha dado la capacidad, la valentía y la fortaleza para que este sueño me hiciera realidad, Sin ti mi Dios no hubiese podido, gracias porque en ti todas las cosas son posibles, mis sueños son tus sueños Dios, todo lo que tengo te pertenece, te AMO, mi Padre Bueno.

A mis padres con todo cariño y amor, Padre Félix Cari Belizario y a mi madre Alejandrina Bellido De Cari por haberme dado la vida, por su apoyo y amor incondicional, por su ejemplo a seguir y por nunca perder las esperanzas en mí y brindarme de sus sabios consejos que marcaron mi vida, desde el comienzo de mi vida universitaria. Por todo el amor brindado durante estos años y encomendarme cada mañana en oración en las manos de nuestro creador y por darme la oportunidad de crecer y formarme profesionalmente con perseverancia y entrega, como ellos me enseñaron. Este triunfo también es de ustedes. Los quiero

Así también se la dedico esta investigación de manera muy especial a todas mis hermanas Norma, Liz, Fiorela, Maritza, Pilar, Marilyn y a mis hermanos Jimmy, Jefferson, por ser mi inspiración de seguir adelante con perseverancia y optimismo. Porque ellos son mi motivación de superarme en la vida y esforzarme en trazar un camino en el camino ellos pueden continuar. Porque en todo este tiempo siempre estuvieron acompañándome con sus palabras de aliento y preocupaciones.

A mis amigas y amigos, por haberme brindado su amistad incondicional a lo largo de los años recorridos en la Universidad.

Dios es nuestro refugio y nuestra fuerza, una ayuda presente ante los problemas.

“Miraya Cari Bellido”

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios todopoderoso por sobre todas las cosas, por llegar a mi vida y conocerle durante todo este tiempo, por mostrarme su Fidelidad, su Amor, por hacerme entender las cosas, por dirigir mis pasos, por nunca dejarme y escucharme en tiempos de soledad de tristeza y también de alegrías, por cada una de las cosas que viví en la universidad que contribuyeron a mi crecimiento personal y espiritual. El Tesoro más grande que conseguí en esta trayectoria universitaria.

Infinitas gracias a mis Padres Felix Cari Belizario y Alejandrina Bellido de Cari por cada consejo llenos de sabiduría, por invertir tiempo, amor y dinero en mí, gracias por confiar en mí. Gracias por inculcarme desde mi niñez esos valores y enseñanzas, que han sido de gran ayuda para mí. Lo que he logrado en esta vida se los debo a ustedes.

Agradezco de forma muy especial a mis Asesores en primer lugar al Dr. Augusto Pumacahua Ramos, por su paciencia, asesoría y consejos, que permitieron desarrollar este proyecto de investigación y por su calidad humana, experiencia, por su enorme y valioso apoyo en la dirección y desarrollo de este trabajo de investigación y en segundo lugar al Ing. Alex Danny Chambi Rodríguez por asesoría y consejos, que permitieron terminar este proyecto de investigación.

A mis jurados al Ing. Enrique Mamani Cuela, Ing. Joel Jerson Coaquira Quispe, Ing. Ana Mónica Torres Jiménez y al Ing. Edgar Mayta Pinto por su paciencia y los consejos que me dieron para el buen desarrollo de esta investigación. A mis amigas por el ánimo; Muchas gracias y que Dios los bendiga.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Objetivo general	16
1.2. Objetivos específicos.....	16
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA	17
2.1. Generalidades de la lúcuma.....	17
2.1.2. Variedades de la lúcuma.....	18
2.1.2.1. Lúcuma de seda	18
2.1.3. Características físicas de la lúcuma de seda y de palo	19
2.1.4. Producción nacional de la lúcuma en el Perú.....	20
2.2. Almidón.....	21
2.2.1. Definición del almidón.....	21
2.2.2. Propiedades del almidón	22
2.2.3. Estructura química del almidón.....	23
2.2.3.1. Amilosa	23
2.2.3.2. Amilopectina	24
2.2.4. Proteínas en gránulo de almidón	25
2.2.5. Fuente y composición.....	25
2.3. Propiedades físicas del almidón	26
2.4. Métodos de obtención de almidón.....	27
2.5. Características morfológicas del almidón	28
2.5.1. Técnicas de microscópicas para la caracterización de almidón	29
2.5.1.1. Microscopia electrónica	29
2.5.1.2. Microscopia óptica o de luz.....	29
2.5.1.3. Microscopia de Fuerza Atómica (AFM)	30
2.6. Características de térmicas del almidón	30
2.6.1. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	30
2.6.2. Difracción de Rayos X (DRX).....	32
2.6.3. Analizador Rápido de Viscosidad (RVA).....	33
2.6.3.1. Propiedades de la pasta de los almidones.....	36

2.7.	Uso industrial del almidón	41
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		42
3.1.	Lugar de investigación	42
3.2.	Materia prima e insumos	42
3.2.1.	Materia Prima	42
3.2.2.	Materiales	42
3.2.3.	Reactivos	42
3.2.4.	Equipos	43
3.3.	Propiedades físicas de la semilla	43
3.3.1.	Dimensión espacial, tamaño y esfericidad	43
3.3.2.	Propiedades gravimétricas de las semillas	44
3.3.3.	Rendimiento de la Parte Extraíble del Almidón (PEA)	45
3.3.4.	Extracción del almidón de las PEA's.....	46
3.3.4.1.	Descripción del proceso	47
3.3.5.	Propiedades fisicoquímicas del almidón de lúcuma.....	49
3.3.5.1.	Humedad	49
3.3.5.2.	Cenizas	49
3.3.5.3.	Proteínas	50
3.3.5.4.	Lípidos.....	50
3.3.5.5.	Carbohidratos	50
3.3.6.	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).....	50
3.3.7.	Propiedades térmicas del almidón.....	51
3.3.7.1.	Difracción de Rayos X (DRX).....	51
3.3.7.2.	Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	51
3.3.7.3.	Análisis Rápido de Viscosidad (RVA).....	51
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		52
4.1.	Propiedades físicas y gravimétricas de las semillas	52
4.2.	Rendimiento de Parte Extraíble de Almidón (PEA)	53
4.2.1.	Almidón extraído de la PEA	53
4.3.	Análisis proximal del almidón	55

4.4.	Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)	59
4.4.1.	Forma.....	59
4.4.2.	Tamaño de gránulo.....	63
4.5.	Análisis térmicas del almidón	66
4.5.1.	Difracción de Rayos X (DR X).....	66
4.5.2.	Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	68
4.6.	Análisis Rápido de Viscosidad (RVA).....	72
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		77
5.1	Conclusiones.....	77
5.2.	Recomendaciones	79
REFERENCIAS		80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la lúcuma.....	18
Tabla 2. Características físicas de la lúcuma de seda y de palo	19
Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas de los componentes del almidón.....	22
Tabla 4. Composición química de gránulos de almidón	25
Tabla 5. Características de los gránulos de almidón de diferentes fuentes botánicas	28
Tabla 6. Temperaturas y entalpias de gelatinización de algunos almidones	32
Tabla 7. Muestran el uso industrial del almidón	41
Tabla 8. Determinación de la dimensión espacial, tamaño y esfericidad.....	43
Tabla 9. Determinación de las propiedades gravimétricas de las semillas.....	44
Tabla 10. Rendimiento de PEA	45
Tabla 11. Características físicas de la semilla de lúcuma (pouteria lúcuma).....	52
Tabla 12. Rendimiento de semilla y cáscara de lúcuma.....	53
Tabla 13. Rendimiento del almidón extraído a partir de la semilla de lúcuma.....	54
Tabla 14. Composición química para almidón de la semilla de lúcuma	56
Tabla 15. Resultado de formas de almidones, provenientes de diversas fuentes.....	62
Tabla 16. Resultados de tamaños, provenientes de diversas fuentes botánicas.....	64
Tabla 17. Datos obtenidos de los gráficos de Difracción de rayos X (RDx) para los almidones de semilla de lúcuma seco a 5 y 40°C.....	67
Tabla 18. Resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido	69
Tabla 19. Datos obtenidos de los gráficos del (RVA) para los almidones de semilla de Lúcuma seco a 5 y 40 °C.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de la lúcuma.....	15
Figura 2. Partes de la semilla.....	17
Figura 3. Producción nacional (TM) de lúcuma en el Perú entre los años.....	20
Figura 4. Estructura química de la amilosa	24
Figura 5. Estructura química de la amilopectina	24
Figura 6. Patrones de difracción de rayos X, para almidones provenientes de diversas fuentes ..	33
Figura 7. Perfil de viscosidad aparente de un RVA.	35
Figura 8. Proceso de gelatinización del almidón.....	38
Figura 9. Comportamiento del almidón durante la conversión en exceso de agua.	39
Figura 10. Curva típica de analizador rápido de viscosidad del almidón.....	39
Figura 11. Diagrama de flujo para la extracción del almidón de la semillas de lúcuma.....	46
Figura 12. Microimágenes de gránulos de almidón de la semilla de lúcuma a 5°C mediante el Microscopio electrónico de barrido a) 1000 X, b) 2000X y b) 5000 X de aumento. .60	60
Figura 13. Micro- imagen de gránulos de almidón de la semilla de lúcuma a 40°C mediante la Microscopia electrónico de barrido a) 1000 x, b) 2000x y c) 5000x de aumento	61
Figura 14. (a) Tamaño de los gránulos de almidón de 5°C observados a 1000x de aumento; (b) Tamaño de los gránulos de almidón de 40°C observados a 1000X.	63
Figura 15. Resultados del rayos X del almidón de lúcuma refrigerados a 5°C.....	66
Figura 16. Resultados del rayos X del almidón de lúcuma secado a 40°C	67
Figura 17. Resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido para los almidones a 5°C.	69
Figura 18. Resultados del análisis de calorimetría diferencial de bariido para los almidones a 40°C.....	70
Figura 19. Análisis rápido de viscosidad (RVA) para los almidones de la semilla de Lúcuma seco a 5°C y 40 °C.....	72

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Método de determinación de humedad	94
Anexo B. Método de determinación de ceniza.....	95
Anexo C. Norma técnica peruana 205.005. Determinación proteínas totales (método de Kjeldahl).	96
Anexo D. Norma técnica peruana 205.006: determinación de materia grasa	99
Anexo E. Dimensiones axiales de las semillas de lúcuma	101
Anexo F. Densidad real de la semilla de lúcuma	102
Anexo G. Rendimiento de cáscara y almendra de la semilla de lúcuma variedad seda.....	103
Anexo H. Lúcuma utilizada para el almidón extraído.....	104
Anexo I. Rendimiento del almidón de lúcuma.	105
Anexo J. Proceso de extracción de almidón de las semillas de lúcuma.	105
Anexo K. Secados con aire frío	107
Anexo L. Secado con aire caliente horno o estufa	107
Anexo M. Certificado de análisis físico químico del almidón.	108

SÍMBOLOS USADOS

<i>RVA</i>	:	Análisis Rápido de Viscosidad
<i>x</i>	:	Aumento
<i>cP</i>	:	Centipoise
<i>DSC</i>	:	Colorimetría diferencial de barrido
ρ_a	:	Densidad aparente
ρ	:	Densidad real
<i>a</i>	:	Diámetro mayor
<i>b</i>	:	Diámetro medio
D_a	:	Diámetro medio aritmético
D_g	:	Diámetro medio geométrico
<i>c</i>	:	Diámetro menor
<i>DRX</i>	:	Difracción de Rayos X
ΔH_g	:	Entalpia
\emptyset	:	Esfericidad
<i>m</i>	:	Masa
M_{rl}	:	Masa de recipiente lleno
M_{rv}	:	Masa de recipiente vacío
μm	:	Micra o micrómetro
<i>MEB</i>	:	Microscopia Electrónica de Barrido
<i>MOAR</i>	:	Microscopia Óptica de Alta Resolución
<i>min.</i>	:	Minuto
<i>PEA</i>	:	Parte Extraíble del Almidón
T_p	:	Temperatura de pico
T_c	:	Temperatura final
T_o	:	Temperatura inicial
<i>v</i>	:	Volumen
V_r	:	Volumen de recipiente

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue la extracción y caracterización de almidón de las semillas de lúcuma (*Pouteria lúcuma*), se evaluaron las propiedades, fisicoquímicas, morfológicas y térmicas del almidón de las semillas de lúcuma así como el rendimiento del almidón. Las propiedades físicas (dimensiones espaciales, tamaño, esfericidad, las propiedades gravimétricas), el rendimiento mayor fue de 51.37%, donde las semillas resultaron con diámetro mayor de 30.22mm, diámetros medio geométrico y aritmético son 27.91 y 27.78mm, área superficial de 2456.22mm². También, la densidad real y aparente son de 199.30 y 478.23kg/m³. El análisis proximal, donde el contenido de humedad de 5°C y 40°C fueron entre 6.26 a 14.82%; proteínas 0.68 a 0.74%; cenizas de 0.20 a 0.29%; lípidos de 0.10 a 0.23 y el contenido de carbohidratos estuvo entre 98.97 a 99.16%. La morfología (forma y tamaño) de los gránulos de almidón se estudiaron con una técnica de microscopia electrónica de barrido MEB, donde mostraron una forma esférica o de domo y ovaladas con longitudes de 7.57 y 6.59μm para los dos tratamientos, el difractograma de rayos X mostro un patrón de tipo C que se considera una mezcla de los patrones tipo A y B. Calorimetría diferencial de barrido (DSC), donde el almidón de lúcuma presentó para los dos tratamientos con un pico alto a una temperatura de 67.72 y 67.56°C donde se registra los valores más altos de absorción de calor, con una entalpia de gelatinización es de 8.18 y 16.99 ΔH_g (J g⁻¹) donde es la energía absorbida en el proceso, finalmente los resultados de las propiedades de la pasta (RVA), utilizando un viscoamilografo, donde se pudo generar una viscosidad alcanzado durante el crecimiento del almidón de la semilla de 2862.5 y 3102cP, y un tiempo de pico de 5.3 y 5.2 minutos y con temperatura de 65.7 y 64.2°C.

Palabras clave: Almidón, propiedades fisicoquímicas, morfológicas, térmicas y rendimiento.

ABSTRACT

The purpose of this investigation was extraction and characterization of starch from Lúcumá seeds (*Pouteria lúcumá*), dry in two environments of different temperatures the physical, physicochemical, morphological and thermal properties of the starch from the lúcumá seeds were evaluated after the starch yield was evaluated. The physical properties (spatial dimensions, size, sphericity, gravimetric properties), the highest yield was 51.37%, where the seeds resulted with a diameter greater than 30.22mm and geometric and arithmetic mean diameters are 27.91 and 27.78mm with an area surface of 2456.22mm². Also, the real and apparent densities are 199.30 and 478.23kg / m³. The proximal analysis, where the moisture content for two treatments were between 6.26 and 14.82%; proteins 0.68 to 0.74%; ash was 0.20 to 0.29%; Lipids were from 0.10 to 0.23 and the carbohydrate content was between 98.97 to 99.16%. The morphology (shape and size) of the starch granules were studied with a scanning electron microscopy technique MEB, where they showed a spherical or dome shape and ovals with lengths of 7.57 and 6.59µm for the two treatments, the diffractogram of rays X showed a type C pattern that is considered a mixture of type A and B. Differential scanning calorimetry (DSC), where lúcumá starch presented for both treatments with a high peak at a temperature of 67.72 and 67.56 ° C where the highest values of heat absorption are recorded, with an enthalpy of gelatinization is 8.18 and 16.99 ΔH_g (J g⁻¹) where is the energy absorbed in the process and finally the results of the properties of the paste (RVA), using a viscoamilograph, where it was possible to generate a viscosity reached during the growth of the starch of the lúcumá seed of 2862.5 and 3102cP, with a peak time peak of 5.3 and 5.2 minutes and with a temperature of 65.7 and 64.2 ° C.

Keywords: Starch, physical, morphological, thermal and performance properties.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El almidón es el segundo polímero más abundante de la naturaleza. Este es utilizado ampliamente no solo en la industria de los alimentos sino a otras industrias, tales como papel, textil, fármacos, química, petróleo, cerámica, etc. (Alarcón & Dufour, 2001) Entre las principales fuentes de almidón se encuentran los cereales, tubérculos, raíces y leguminosas. La papa, yuca y maíz son los principales insumos para la producción de almidón y que se exportan a nivel mundial (Medina & Salas, 2008).

La búsqueda de nuevas fuentes de almidón es una alternativa para el desarrollo de la agricultura y la industria en países en desarrollo y ricos en campos de cultivo, a nivel mundial, la industrial del almidón ha estado limitado a pocos cultivos tradicionales, razón por la cual es necesario buscar nuevas fuentes de extracción, es así que en la presente investigación se estudia la tecnología para la extracción de almidón de la semilla de lúcuma.

La lúcuma es una fruta exótica típica Peruana que está siendo comercializada y exportada in natura, rica en carbohidratos y de sabor agradable. La pulpa representa más de 50% del fruto, siendo el restante la semilla, que en la industrialización es desechada como residuo sólido. Hay necesidad de cuantificar y caracterizar el almidón de esta semilla de lúcuma y aumentar el valor industrial de este fruto. También se está elaborando harina de la pulpa de lúcuma pues en esta forma tiene una larga vida de anaquel. Esta posee una semilla de baya o drupa redonda, ovalada, achatada o en forma de trompo, de 4 a 10 cm aproximadamente de diámetro con olor y color característico, generalmente de forma asimétrica y puede ser fuente importante de carbohidratos en forma de almidón (Llerena, 2011). No hay trabajos científicos sobre el almidón de lúcuma, pues es un fruto que no se cultiva a nivel mundial, solamente en el Perú (Borbor, 2017).

Esta investigación es novedosa ya que muchas personas desconocen la importancia de la semilla de lúcuma, en el país solo es transformado en harinas de lúcuma. Conociendo el mejor

método de extracción del almidón de la semilla de lúcuma podemos industrializar su explotación, convirtiéndolo de esta manera un producto con muchas más aplicaciones y en un producto más aceptado, por lo que es necesario transformar la semilla de lúcuma en producto más atractivo.

La extracción de almidones generalmente es realizada mediante trituración de la materia prima y consecuente separación, lavado y secado (Cobana & Antezana, 2008). El conocimiento del proceso de extracción de almidones de fuentes no convencionales, en función de velocidades de la licuadora y tiempos de licuado, permitirán direccionar la producción e industrialización de esta fruta exótica. Los almidones son caracterizados mediante técnicas instrumentales, tales como: Microscopia electrónica de barrido, Difracción de rayos X, Calorimetría diferencial exploratoria, Termogravimetría, y Viscosidad aparente. Estas propiedades permiten determinar los usos potenciales de este polímero (Reyes, 2007).

1.1. Objetivo general

Extraer y caracterizar el almidón de las semillas de lúcuma (*Pouteria lúcuma*)

1.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar las propiedades físicas de las semillas de la lúcuma.
- ✓ Determinar el rendimiento de almidón semilla de la lúcuma.
- ✓ Evaluar las propiedades físicas y térmicas del almidón de semillas de la lúcuma en dos formas de secado mediante técnicas instrumentales.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Generalidades de la lúcuma

El origen de la fruta es andino, de nuestro país por su calidad y tradición histórica, habiéndose encontrado representaciones del fruto de lúcumo en huacos y tejidos en las tumbas pre-incas del litoral peruano; prueban que durante siglos se ha venido utilizando este fruto en la alimentación (Castillo, 2006). Esta planta se produce principalmente en el Perú, 1,000 y 3,000 m.s.n.m., más no precipitaciones constantes durante todo el año; se adecua en climas fríos, la mayor concentración de este frutal se localiza en los departamentos de Lambayeque, La libertad, Ancash, Lima, Ica, Arequipa, Moquegua, Cajamarca, Huánuco, Ayacucho, Apurímac, Cuzco y Loreto (Borbor, 2017; Maldonado, 2006).

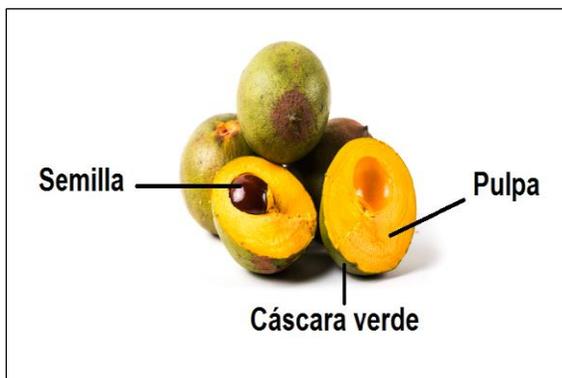


Figura 1. Partes de la lúcuma.
Adaptado de, Castillo Málaga, (2006)

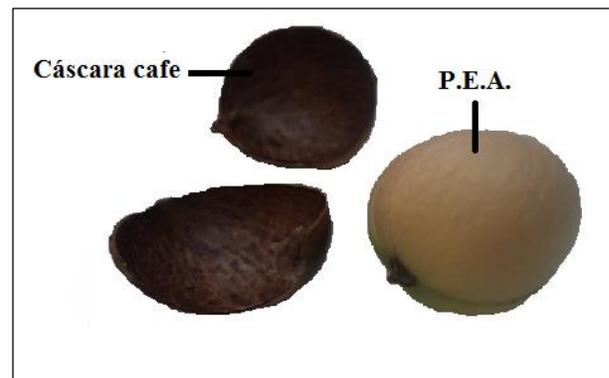


Figura 2. Partes de la semilla.
Fuente: Presente trabajo.

La semilla de forma ovoide o esférica, redondeada y achatada, mide de 2 a 4cm. de diámetro y está cubierta de un epidermo grueso de color marrón claro u oscuro con hilo u ombligo oblongo de color blanco-opaco, además los frutos pueden tener de uno a cinco semillas

por fruto, generalmente tienen un solo embrión pero pueden hallarse de dos a tres; los cotiledones son bien desarrollados y de color blanco- amarillento (Borbor, 2017).

2.1.1. Características taxonómicas

En la Tabla 1 se muestra la clasificación taxonómica de la lúcuma es de la siguiente forma.

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de la lúcuma

Nombre Común	Lúcuma “Lucma”
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Ericales
Familia	Sapotaceae
Género	Lúcumo o Pouteria
Nombre científico	<i>Pouteria Lucuma</i>

Fuente: Arce Amado (2012); Castillo Málaga (2006); Mostacero et al., (2017)

2.1.2. Variedades de la lúcuma

Las especies mas utilizadas a nivel comercial y tradicional son de la variedad de seda y palo.

2.1.2.1. Lúcuma de seda

Es de una forma esférica y achatada (Mostacero et al., 2017). También conocida como yema de huevo la lúcuma que al madurar presenta textura suave, dulce y de sabor agradable y color va desde amarillo intenso hasta el ocre, su cáscara es de color verde y posee pulpa de color naranja brillante a amarillo, esta especie es nativa de las regiones del sur del Perú (Janampa, 2017).

Está relacionado generalmente el climaterio con cambios extremos en la apariencia de la fruta, no desarrollan estos cambios que les dan su calidad característica, generalmente presenta de color verde al estado maduro, muchas veces de acuerdo al clima, la coloración de la

cáscara, presenta manchas amarillas, en el momento de la maduración, pero no necesariamente indica la una maduración exacta, sino la fruta se encuentra en periodo de pre-maduración y requiere un tiempo adecuado de almacenamiento para adquirir la maduración óptima, en cuanto al color de la pulpa de lúcuma tiende a incrementar durante la maduración (Janampa, 2017).

2.1.2.2. Lúcuma de palo

Posee una pulpa dura de color amarillo, inapropiada para el consumo directo en fresco, pero muy adecuada para el procesamiento en harinas presenta una forma achatada y achatada-esférica; también conocida como lúcuma nervosa, su fruto es de color amarillo y presenta la misma coloración de la pulpa que la lúcuma de seda que se caracteriza porque la pulpa es seca y fibrosa también es utilizado principalmente en la producción de helados (Janampa, 2017; Mostacero et al., 2017).

2.1.3. Características físicas de la lúcuma de seda y de palo

En la tabla 2 se presenta las características físicas de la lúcuma de seda y palo.

Tabla 2.

Características físicas de la lúcuma de seda y de palo

Lúcuma	Unidad	Lúcuma de seda	Lúcuma de palo
Semilla	%	13	11
Cáscara	%	10	9
*Pulpa	%	77	81
*Peso promedio	Gr.	170	120
Diámetro	cm.	5 a 10	4 a 8
Densidad	Gr./cm	0.185	0.155

Fuente :* CODEX STAN 305R (2011); (Llerena, 2011)

Se presentan dos tipos principalmente, la lúcuma de palo y la lucuma de seda. La norma regional del codex para la lucuma diferencias a estos dos tipos de lucuma según su firmeza de la pulpa, siendo la lucuma de seda de una firmeza blanda a semi-dura, y la lucuma de palo posee una pulpa de firmesa dura. Así mismo, se reconoce la existencia de una amplia cantidad (sobre todo silvestres) distribuidos en las diferentes regiones donde se produce (CODEX STAN 305R, 2011).

2.1.4. Producción nacional de la lúcuma en el Perú

El Perú es el líder en la producción de lúcumo, con una producción de 5.8.miles de TM destinados principalmente para la producción de harina (Arce, 2012). También la producción nacional de la lúcuma en el Perú en los últimos años es de tendencia creciente, como se muestra en la Figura 3, siendo las regiones con mayor producción: Lima (principal productos), seguida por Ayacucho, Ancash, Piura, La Libertad, Ica, Lambayeque, Huánuco, Arequipa, Cuzco, Cajamarca y Loreto (Borbor, 2017).

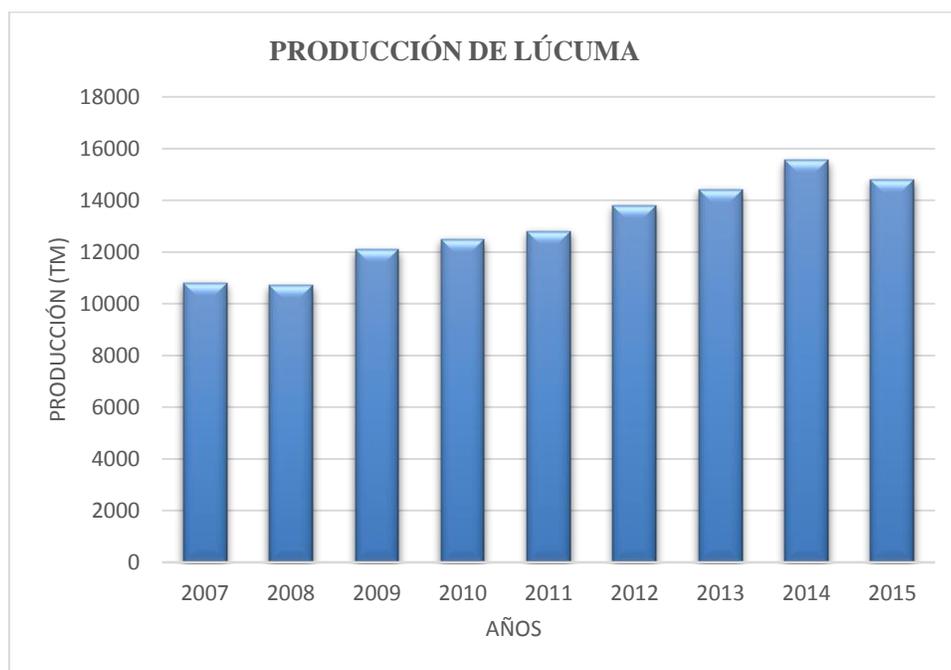


Figura 3. Producción nacional (TM) de lúcuma en el Perú entre los años.
Fuente: AGRARIO, (2014); MINAGRI, (2015)

La producción nacional creció sosteniblemente en los últimos años, registrando una producción total de 10,800 toneladas en el 2007; este incremento de la producción se explica en parte por el aumento de la superficie de lúcumo, la cual extendió. También en los meses desde febrero a abril son los de más alta producción; cabe destacar a la región de Ayacucho que es la única que presenta una producción casi constante durante todo el año, lo cual se puede deber a temperatura favorable y constante que se presenta todo el año (Alegre et al., 2017).

2.2. Almidón

2.2.1. Definición del almidón

Los gránulos de los almidones pueden aislarse fácilmente por medios físicos y debido a su abundancia. Este biopolímero constituye un excelente material para modificar la textura y la consistencia de los alimentos y es el carbohidrato más importante en la actividad humana por su función alimenticia, sino también el tipo de almidón, la composición y propiedades del almidón varía con la fuente de que se deriva y puede posteriormente modificarse por un medio químico o físico para impartir cierta funcionalidad y por sus múltiples aplicaciones en la industria y el comercio según Alarcón M & Dufour, (2001).

El almidón es sintetizado en forma de gránulos semicristalinos, almacenado en diferentes órganos de plantas incluyendo: hojas, semillas, tubérculos, raíces y frutas, es de gran importancia entender las características estructurales del almidón para sugerir posibles aplicaciones de este polímero en diversos sistemas, la mayoría de sus caracterizaciones estructurales y fisicoquímicas del almidón por Espinosa. & Bello., (2008).

El almidón es un polisacárido vegetal que se almacena en las raíces, tubérculos y semillas de plantas, que se encuentra en el endospermo de los granos. El almidón se puede hidrolizar a glucosa y se puede proporcionar en energía para el hombre y la glucosa que es necesaria para el buen funcionamiento del sistema nervioso central. Cuando se consume en la dieta humana aporta 4 calorías/gr. también contienen polímeros de glucosa de cadena larga y son insolubles en agua a diferencia de las moléculas de sal o azúcar. Los polímeros más largos de almidón no forman una solución verdadera. Los gránulos de almidón forman una suspensión temporal cuando se agitan en agua, los gránulos sin cocer pueden hincharse ligeramente a medida que absorben agua (Vaclavik, 2010).

El término almidón se usa con dos significados diferentes. El primero es que en ciertos tipos de moléculas son llamadas almidón. El segundo es que en las células de las plantas estas moléculas de almidón se unen en forma de paquetes o gránulos microscópicos, y estos gránulos son también llamados almidón. Cuando una receta requiere una cantidad de almidón se refiere almidón en forma granular. Se puede observar que las propiedades funcionales del almidón

granular en las comidas provienen de la naturaleza de las moléculas de almidón y su unión única dentro del granulo según Dávila, (2000).

Es un polisacárido propio de tejidos que tiene como unidad estructural moléculas de glucosa, en forma de gránulos, que habitualmente ofrecen una forma redondeada, irregular, los tamaños oscilan entre 2 y 100 micras, las formas como los tamaños de los gránulos son característicos de la especie vegetal. Contribuye a la dieta normal de los seres humanos con más calorías que cualquier otra sustancia por Surco & Cordova (2004).

2.2.2. Propiedades del almidón

El almidón está constituido por dos homopolímeros de α -D-glucosa llamados amilosa y amilopectina. La amilosa está formada por cadenas de polímeros lineales de moléculas de glucosa. La amilopectina es una molécula más grande que se caracteriza por formar cadenas de polímeros ramificados según Palate & Manjarrez (2013).

Se muestran en la Tabla 3. Las propiedades de los almidones dependen de las características físicas y químicas como el tamaño medio granular, la distribución del granulo, la relación amilosa amilopectina y el contenido mineral, mencionó Rodríguez, (2015).

Tabla 3.
Propiedades fisicoquímicas de los componentes del almidón.

Propiedad	Amilosa	Amilopectina
Estructura molecular	Lineal	Ramificada
Longitud promedio de cadena	10^3 Da	20-25 Da
Grado de polimerización	10^3 Da	10^4 - 10^5 Da
Complejo de yodo	Azul(650 nm)	Púrpura 8550 nm)
Afinidad de yodo	19-20%	1%
Valor azul	1.4	0.05
Estabilidad en solución acuosa	Retrograda fácilmente	Estable
Propiedades de película	Fuerte	Quebradiza

Fuente: Rodríguez Torres, (2015).

2.2.3. Estructura química del almidón

Químicamente, el almidón es polisacárido semicristalino compuesto por D-glucopiranosas unidas entre sí mediante enlaces glucosídicos. El almidón está formado por dos polímeros de diferente estructura (amilosa y amilopectina), los cuales se diferencian por las uniones que presentan dentro del granulo de almidón y que además presentan cerca de 98-99% del peso en seco. La proporción de estos dos polímeros varían según la fuente botánica y su organización física dentro de la estructura granular, confiriéndose propiedades fisicoquímicas y funcionales unidas. A pesar de la química simple del almidón, las moléculas que lo conforman son variables y complejas según Tester et al., (2004).

Además están constituidos por dos moléculas, amilosa y amilopectina y ambas partes están conectadas por uniones glicosídicas, los gránulos de almidón contienen otros componentes minoritarios como son las proteínas, lípidos y minerales. De estos, generalmente presentan niveles bajos de proteína y tecnológicamente importantes, los gránulos de los almidones son relativamente densos e insolubles; se hinchan muy mal en agua fría dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden mezclarse según Méndez et al. (2009).

2.2.3.1. Amilosa

La amilosa es un polímero, este es lineal compuesto de D-glucopiranosas enlazadas α 1-4 se muestran en la Figura 4. El contenido de amilosa es el principal factor que controla casi todas las propiedades fisicoquímicas del almidón, tales como la turbidez, sinéresis, estabilidad a la congelación-descongelación, pegado gelatinizado y propiedades de retrogradación (Mangalika Wickramasinghe & Noda, 2008). El efecto de la amilosa en la propiedad de reológicas de la pasta de almidón de arroz ha sido investigado por Liu, Ramsden, & Corke, (1999), ellos afirmaron que la cantidad de lixiviación de amilosa son uno de los principales factores que influyen en las propiedades reológicas del almidón durante al calentamiento.

Por su parte, (Wang & Wang, 2003) establecen que los datos contenidos de amilosa se relaciona directamente con una mayor fuerza de gel y un menor consumo de energía para el hinchamiento. También establecieron que las cadenas medias de amilopectina tiene un efecto pronunciado en las fases de transición y en las temperaturas de gelatinización, dando a estas

cadena ramificadas la posibilidad de ser las responsables de las propiedades reológicas del almidón.

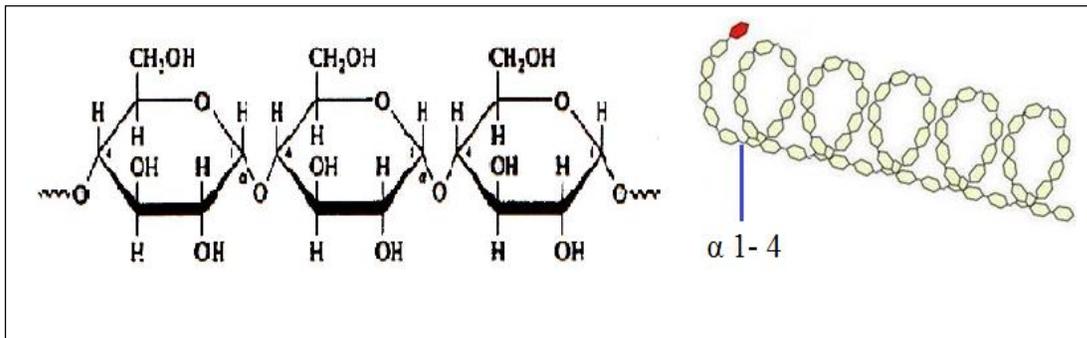


Figura 4. Estructura química de la amilosa.
Adaptado de Miñón Hernández, (2011).

2.2.3.2. Amilopectina

La amilopectina se muestran en la Figura 5, es la responsable predominante en la mayoría de los almidones normales, tiene propiedades expansivas, es un polímero más grande que la amilosa y es ramificada, está compuesta de segmentos de glucosa enlazada α 1-4 conectada a puntos de ramificación enlazados ALFA 1-6. Debido al tamaño de la molécula su retrogradación es disminuida y la formación de gel puede ser demorada o evitada. La retrogradación es el proceso que ocurre cuando las moléculas que componen el almidón gelatinizado empiezan a reaccionarse, permitiendo una estructura más ordenada (Palacio & Peñata, 2012).

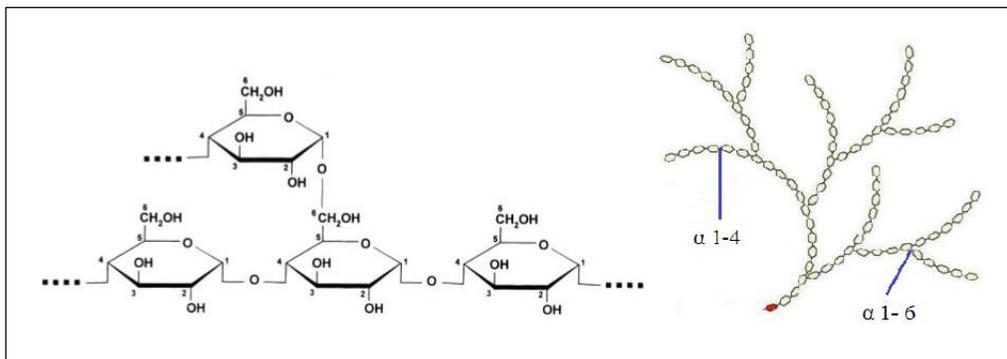


Figura 5. Estructura química de la amilopectina
Adaptado de Miñón Hernández, (2011).

2.2.4. Proteínas en gránulo de almidón

Además de amilosa y amilopectina, los gránulos de almidón contienen otros componentes minoritarios como son proteína, lípidos y minerales. De estos, las proteínas y lípidos son los más abundantes y tecnológicamente importante, mencionado por Tovar, (2008).

En la Tabla 4 se muestran alguna de las características fisicoquímicas, de diferentes gránulos de almidón.

Tabla 4.
Composición química de gránulos de almidón

Fuente	Humedad ^a	Carbohidratos ^a	Proteínas ^{*b}	Lípidos [*]	Cenizas [*]
Arroz	15	83.15	0.45	0.8	0.5
Maíz	13	85.92	0.35	0.6	0.1
Trigo	14	84.59	0.4	0.8	0.15
Sorgo	13	85.92	0.3	0.7	0.08
Papa	19	80.41	0.06	0.05	0.4
Tapioca	13	86.59	0.1	0.1	0.2
Amaranto	6	92.1	0.1	0.4	1.4
Plátano	12.6	80.27	2.03	2.2	1.3

Fuente: Pérez-Sira, 1997; Bertolini, 2010.

Nota: a: Expresado en %, b: Nx6.25, *: en base seca.

Las proteínas son compuestas de alto peso molecular que se encuentra asociadas al gránulo de almidón, se pueden dividir en dos grandes categorías según Borén et al., (2004)

- Proteínas de almacenamiento, las cuales permanecen unidas indirectamente a la superficie del granulo, son solubles en agua.
- Proteínas asociadas al granulo de almidón, están unidas a la superficie del granulo del almidón y/o conforman su estructura interna.

2.2.5. Fuente y composición

Como hidratos de carbono de reserva, los almidones se encuentran en determinados tejidos vegetales, como en tubérculos en lugares donde la planta almacena energía señaló Palate et al., (2013), y en el endospermo de las semillas. Sus propiedades funcionales son de importancia en muchos alimentos. Los polímeros celulosa y hemicelulosa constituyentes la

mayor cantidad orgánica en nuestro planeta ya que forma parte de la pared celular del tejido vegetal; la celulosa también es un polímero de la glucosa, como el almidón con diferentes tipos de organización estructural, celulosa amorfa y cristalina (Badui, 2006).

El almidón proviene de diversas fuentes con diferentes estructuras cristalinas. Los granos de cereal con maíz, trigo, o arroz son fuentes de almidón, como lo son de las raíces y tubérculos. Por ejemplo, la tapioca, la raíz de la mandioca, y las patatas se usan frecuentemente en la preparación de alimentos sin gluten. El almidón también deriva de las legumbres como las habas de soja y los garbanzos. Los gránulos de almidón forman diversos granos que difieren en el tamaño, oscilando desde 2 a 150 micras y en la forma que puede redonda o poligonal, como la microscopia electrónica del maíz, trigo y maíz céreo según Vaclavik (2010).

2.3. Propiedades físicas del almidón

El tamaño y forma de gránulos de almidón, la relación de amilosa y amilopectina y la cantidad y naturaleza de sus componentes que no son hidratos de carbono afectan su uso industrial. Se han realizado estudios funcionales de los almidones de fuentes alternativas. Estos almidones muestran un comportamiento muy interesante. Los atributos como la viscosidad, claridad, solubilidad, capacidad de retención de agua, hinchamiento, gelatinización y retrogradación son importantes en la industria alimentaria. Además en los últimos años se ha estado tomando gran interés el estudio de las propiedades mecánicas fundamentales de suspensiones de almidón y geles, con el propósito de identificar la relación entre las propiedades físicas de la estructura de estos materiales. La investigación sobre el comportamiento termo mecánico de los polisacáridos en forma pura o a partir de los alimentos que los contienen es de gran importancia para determinar las propiedades térmicas del almidón sin embargo. Estos ayudan a entender y predecir las propiedades como textura, condiciones de flujo durante los procesamientos al igual que la predicción del tiempo de vida media y atributos de calidad de los productos que contienen almidón. En la mayoría de los casos, las dispersiones acuosas de polisacáridos muestran respuestas térmicas según Méndez et al., (2009).

2.4. Métodos de obtención de almidón

El proceso para la obtención del almidón a escala piloto empleando banano (*Musa sapientum*), cuyo contenido máximo de almidón en base húmeda fue del 6% en el fruto en estado verde. El fruto fue pelado en una criba vibratoria equipada con dos tamices (malla 80 arriba y 200 abajo). La suspensión obtenida fue concentrada mediante el uso de una centrífuga, la suspensión fue colocada en un tanque y mantenida a temperatura ambiente de 1 a 2 horas para su sedimentación fue secada a temperatura de 50°C durante 24 horas en un secador de aire forzado. El almidón obtenido fue guardado para su posterior análisis, el rendimiento obtenido en base seca fue del 46 a 70% de almidón con pureza del 93.5%; este proceso solo se quedó a nivel de experimentación sin ser llevado a escala industrial según Bello-Perez et al., (2006).

El método de obtener el almidón de maíz de manera comercial es mediante la llamada molienda húmeda del grano, que consiste en limpiarlos y remojarlos en agua a 50°C de 24 a 48 horas, el maíz alcanza un contenido de agua del 45 al 50% lo cual facilita su trituración. La suspensión resultante se muele, se filtra y por diferencia de densidades se separa el almidón de las proteínas; la fracción que contiene el polisacárido se purifica hasta reducir su contenido en proteínas y posteriormente se concentra y se seca por métodos como el tambor o el de aspersion según Bello-Perez et al., (2006).

Los métodos de extracción de almidón, uno de los métodos de extracción de almidón es por vía seca que consiste en: Técnica N° 1: Lavado y descascarillado, rallado, deshidratado, molido y tamizado Técnica N° 2: Lavado y descascarillado, rallado, pre-deshidratado, pre-molido, deshidratado, molido y tamizado. La etapa de rallado tiene por objeto desmenuzar la pulpa y romper las paredes celulares para facilitar la liberación de los gránulos de almidón (Cobana & Antezana, 2007).

El otro método opcional para obtener almidón de manera comercial consiste en la llamada molienda húmeda de maíz, en la que intervienen los siguientes pasos: Se limpian los granos y se maceran en agua de 24 a 48 horas a 50°C (se puede añadir entre 0.1 y 0.2% de anhídrido sulfuroso como agente microbiano); en esta etapa el maíz absorbe agua hasta alcanzar un contenido de 45 a 50%, con lo cual se ablanda el grano y se facilita su trituración; durante este proceso se desprende el germen, que se recupera por flotación o mediante un sistema de

hidrociclones. La suspensión resultante se muele y se filtra, y el almidón se separa de las proteínas por diferencia de densidades. La fracción que contiene el polisacárido se purifica hasta reducir su contenido de proteínas a un valor menor de 0.3%; posteriormente se concentra y se seca por métodos como el de tambor rotatorio o el de aspersion. Los subproductos también tienen un alto valor comercial, ya que el germen se usa para la extracción de aceite comestible, y el gluten, rico en proteínas, para el consumo humano y animal (Gómez, 2006).

2.5. Características morfológicas del almidón

En la Tabla 5 se muestran el tamaño y forma de gránulos de almidón de diferentes fuentes botánicas.

Tabla 5.
Características de los gránulos de almidón de diferentes fuentes botánicas.

Almidón	Tipo	Forma	Distribución	Tamaño
Cebada	Cereal	Lenticular (Tipo A) Esférica (Tipo B)	Bimodal	15-25 2-5
Maíz (ceroso y normal)	Cereal	Esférica/poliédrica	Unimodal	2-30
Amilomaíz	Cereal	Irregular	Unimodal	2-30
Mijo	Cereal	Poliédrica	Unimodal	4-12
Avena	Cereal	Poliédrica	Unimodal	3-10 (simple) 80(compuesto)
Chicharo	Leguminosa	Retiform (simple)	Unimodal	5-10
Papa	Tubérculo	Lenticular	Unimodal	5-100
Arroz	Cereal	Poliédrica	Unimodal	3-8(simple) 150(compuesto)
Centeno	Cereal	Lenticular (Tipo A) Esférica (Tipo B)	Bimodal	10-40 5-10
Sorgo	Cereal	Esférica	Unimodal	5-20
Tapioca	Raíz	Esférica/lenticular	Unimodal	5-45
Triticale	Cereal	Esférica	Unimodal	1-30
Sago	Cereal	Ovalada	Unimodal	20-40
Rigo	Cereal	Lenticular (Tipo A) Esférica (Tipo B)	Bimodal	15-35 2-10

Fuente: Tester et al., (2004)

2.5.1. Técnicas de microscópicas para la caracterización de almidón

La microscopia viene siendo utilizada en estudios para esclarecimiento de la estructura del almidón desde la invención del microscopio. A pesar de ser, actualmente, la herramienta más importante de este tipo de estudio, las observaciones hechas en los diversos tipos de microscopia existentes todavía son objetos de discusión, han sido usadas para estudiar la microestructura de los gránulos del almidón y los cambios durante su procesamiento según Fazaeli et al., (2012).

2.5.1.1. Microscopia Electrónica

La microscopia electrónica de barrido (*scanning electron microscopy*- SEM) tiene un poder de resolución cerca de diez veces mayor que la microscopia de luz, mientras que la microscopia electrónica de transmisión (*transmisión electron microscopy*-TEM), tiene mil veces más poder de resolución según Kang, Echarri, & Llorente (2013). Además estas dos son las más utilizadas ya que nos permiten una mayor apreciación de la superficie de gránulos y morfología en general, la cual está relacionada directamente de la fuente de botánica a partir de la cual son aislados los almidones. A pesar de la SEM haber aumentado mucho el conocimiento de la estructura del gránulo de almidón, se sabe que partículas biológicas por no ser conductores eléctricos, no son ideales para la SEM, requiriendo un recubrimiento metálico (oro) para disminuir la carga de la carga muestra y aumentar la calidad de la imagen (Chmelik et al.,2001; Cabalkova et al., 2008).

2.5.1.2. Microscopia óptica o de luz

La microscopia óptica o de luz, acoplada al sistema de análisis de imagen, y frecuentemente utilizada para estudios de formato, de tamaño y de frecuencia de muestreo (por ejemplo, en el caso de las semillas de almidón, principalmente por la facilidad de uso o de por el costo del aparato de los gránulos coloreados o de las diluciones de yoduro, el origen botánico del almidón en alimentos, las limitaciones empiezan cuando nanoestructuras como los anillos de crecimiento se visualizan en gránulos grandes de almidón de patata, plátano y trigo; cuando se estudia por medio de microscopia óptica, pero no en gránulos pequeños como los de cereales según Arroyo-Pieck & Peón, (2015).

2.5.1.3. Microscopía de Fuerza Atómica (AFM)

La microscopía de fuerza atómica se han aplicado a una amplia variedad de campos para la captura de imágenes y medición a escala manométricas; las aplicaciones van desde la física, ingeniería, ciencias de la vida hasta el desarrollo del proceso de control; a través, de una mejora progresiva a largo plazo, los AFM se han convertido en una herramienta de la nanotecnología accesible y fácil de usar para el estudio de las propiedades físicas descrita por Dabirian et al., (2015). Además dentro de las características esta evalúa la dureza a escala manometría (nanodureza), utilizando el método de nanoindentación en el modo de espectroscopia investigaron Arias et al., (2015).

2.6. Características de térmicas del almidón

2.6.1. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Los métodos colorimétricos se han ampliado extensivamente en el estudio de la estructura y las transiciones de fase del almidón puro, y en sistemas alimenticios complejos; la presencia en el gránulo de almidón de las regiones moleculares ordenadas, su carácter metaestable (de no equilibrio) y sus interacciones con los constituyentes alimenticios pueden comprobarse por calorimetría diferencial de barrido DSC a través de cambios en el flujo de calor durante el calentamiento de una muestra en un rango de temperatura según Sandoval Aldana et al., (2005).

Se han aplicado los métodos calorimétricos, extensivamente en el estudio de la estructura y las transiciones de la fase del almidón. El término calorimetría diferencial de barrido (DSC) se confundía inicialmente con el análisis diferencial térmico (ADT), técnica en el análisis térmico. El propósito de estos instrumentos térmicos diferenciales es registrar la diferencia entre el cambio de entalpía que ocurre en una muestra y un material inerte de referencia cuando ambos se calientan. En los dos primeros la muestra y la referencia se calientan utilizando una sola fuente de calor y la temperatura se mide por termocuplas que se localizan dentro de los recipientes (ADT clásico) o acopladas a la superficie exterior del recipiente (ADT Boersma) (Tester & Debon, 2000; Chung et al., 2009).

El DSC, son calentadas y enfriadas a la misma velocidad, es decir, la energía absorbida dentro de cada una está sujeto a un programa de temperatura controlada por lo que se puede medir directamente los cambios de flujo de calor asociados con transiciones de primer orden y segundo orden . Cuando el almidón se calienta en presencia de lípidos en el DSC, el termograma resultante, el termograma muestra el calentamiento del almidón, un almidón esencialmente libre de lípidos; el contenido de agua es tan alto que no fluye en la entalpía de gelatinización (Eliasson, 1994).

Durante la gelatinización ocurren cambios irreversibles que provocan el hinchamiento y disrupción de gránulo con una consecuente pérdida de cristalinidad; una vez la parte amorfa del gránulo se ha hidratado completamente, la parte cristalina inicia un proceso similar, disminuyendo el número y tamaño de las regiones ordenadas; se estima que un gránulo gelatinizado ha perdido tanto orden de corto alcance (a nivel molecular) como de largo alcance (cristalinidad) , entre las técnicas más usadas esta DSC, que determina la temperatura y el rango en el cual suceden los cambios de estado y el flujo de calor involucrado según Pineda Gómez et al., (2010).

La desnaturalización térmica de proteínas puede ser detectada como un pico endotérmico en los termogramas obtenidos, ya que la ruptura de enlaces intramoleculares de hidrogeno en una reacción endotérmica. Por otro lado, la ruptura y agregación de interacciones hidrofóbicas. Sin embargo, el área bajo la curva de transición ofrece un estimado de la energía térmica requerida para desnaturalizar la proteína. En el caso del almidón, la DSC ha revelado la naturaleza biopolimérica de los gránulos de almidón y su comportamiento como biopolímero vítreo parcialmente cristalino según Tovar (2008).

Tabla 6.
Temperaturas y entalpias de gelatinización de algunos almidones.

Fuente	T_0 (°C)	T_P (°C)	T_f (°C)	ΔH (J/g)	Referencias
Papa	56.7	60.1	70.1	14	Morikawa & Nishinari, (2000)
Arroz normal	61.7	69.6	78.4	9.7	Liu et al., (1999)
Arroz ceroso	60.5	68.3	78.1	9.8	Liu et al., (1999)
Maíz común	66.11	71.71	-	10.45	Núñez et al., (2004)
Plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.)	75.46	80.7	-	16.82	Núñez et al., (2004)
Musa Var. Valery	69.5	74.6	81.2	12.7	Waliszewski et al., (2003)
<i>Musa paradisiaca normalis</i>	82.7	98.6	102.4	16.4	Lawal et al., (2008)
Tapioca	61.5	66.6	78.5	14.3	Atichokudomchai et al., (2003)

Nota: T_0 : temperatura de inicio, T_P : temperatura de pico, T_f : temperatura final, ΔH : entalpia.

2.6.2. Difracción de Rayos X (DRX)

La difracción de rayos X se ha utilizado para revelar la presencia y las características de la estructura cristalina de los gránulos de almidón, los cuales muestran patrones de difracción A, B y C dependiendo del origen botánico, los cuales se muestran en la figura 2.

La terminología A, B y C se utiliza para diferenciar las cadenas y para facilitar la comparación de los modelos de la amilopectina, cuando la longitud de cada tipo de cadena se desconoce. No obstante que la terminología de cadena A, B y C se utiliza ampliamente, la definición de cadena A y B es un inconsistente, ocasionado confusiones en la interpretación de los resultados de los análisis estructurales de la amilopectina. La cadena A se enlaza al resto de la molécula a través de un extremo reductor, la cadena B esta enlazada con una cadena A, pero transporta otras cadenas A y/o B en uno o más de los grupos hidroxilos primarios; la cadena C no está sustituida en el grupo o extremo reductor y solo existe una cadena de este tipo por molécula (Acosta Osorio, 2013).

La cristalinidad del almidón se atribuye a las cadenas lineales de amilopectina conformadas en doble hélice, las cuales forman modelos de estructuras ordenadas que son entidades cristalinas, donde se presentan dos tipos de patrones de difracción de rayos x Figura 2, el tipo A con picos de mayor intensidad de difracción para los ángulos $2\theta = 15$ y 13 , característico de los almidones de cereales. El tipo B tiene picos de mayor intensidad de la difracción para los ángulos $2\theta = 5, 6, 15$ y 24 , encontrando en los almidones de tubérculos y altos en amilosa, actualmente se considera un tipo C, siendo una mezcla de dos primeros, pero inclinándose al tipo A. el arreglo de estas doble hélice dentro de la estructura polimórfica tipo A es relativamente compacta con un bajo contenido de agua (4-6 moléculas de agua por hélice), el polimorfismo tipo B tiene su estructura más abierta, por lo tanto, hay mayor contenido de agua haciéndola una hélice hidratada (36 moléculas de agua por hélice).

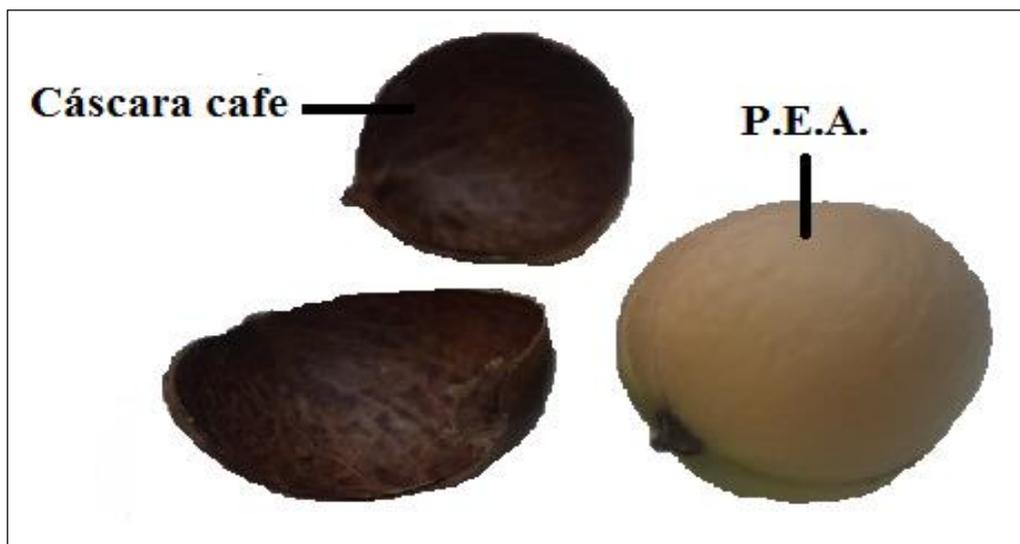


Figura 6. Patrones de difracción de rayos X, para almidones provenientes de diversas fuentes.
Fuente: Spence & Jane, 1999.

2.6.3. Analizador Rápido de Viscosidad (RVA)

Como lo indica la compañía Parte (fabricante del RVA) en su agina web, el RVA es un viscosímetro que cocina y agita muestras (mezcla de harina y agua) con perfiles de variables de temperatura y velocidad, optimizados para evaluar las propiedades viscosas de almidones, granos, harinas y alimentos. A partir de una cantidad mínima de harina de arroz (3 gramos), a

la cual se le adiciona agua, y utilizando protocolos internacionales en materia de mezclado, medición, calentamiento y enfriamiento de las muestras, se obtiene graficas en tiempo real que indican la curva de viscosidad, es decir el tiempo que se tarda la harina en transformarse en una pasta cocida, la temperatura a la que se da esta transformación y el comportamiento de la pasta a medida que se enfrían.

Previo al uso del RVA se debe hacer una adecuada preparación de las muestras que será evaluada. Una vez que el arroz ha sido descascarado, pulido y molido, se pesan 3 g de harina de arroz y 25 ml de agua destilada en una balanza analítica. Ambos elementos se vierten en la capsula de aluminio que provee el equipo, después se introduce el agitador y se llevan la torre receptora del equipo. En cuanto se presiona la torre el RVA y todas las variables son registradas y graficadas en el computador. Se estima que el tiempo de cada prueba es de aproximadamente 13min.

El RVA es un equipo ampliamente conocido y usado por los científicos e industrias dedicados a los alimentos. Su funcionamiento y perfil de viscosidad, así como los parámetros que se puedan extraer de él, han sido estudiados suficientemente. La Figura 6 muestra un perfil de viscosidad aparente de un RVA, este perfil es presentado en ingles porque la mayoría de sus términos no tienen una traducción adecuada. El eje de las abscisas (X) muestra el tiempo de la prueba, el eje coordenado (Y) a la derecha es la temperatura, la línea punteada es el perfil de temperatura bajo el cual se corre la muestra; finalmente el eje coordenado (Y) a la izquierda es la viscosidad aparente medida por el equipo. Cada uno de los parámetros presentados son cálculos por el software del equipo.

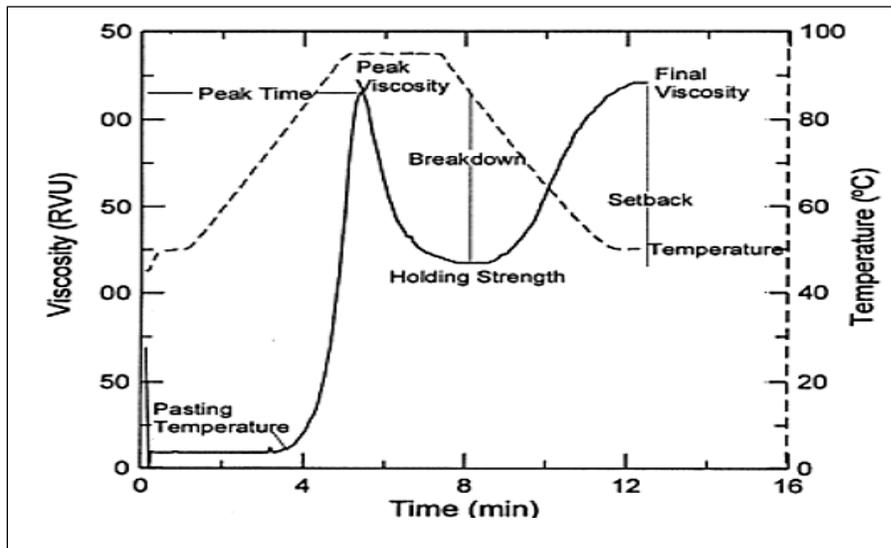


Figura 7. Perfil de viscosidad aparente de un RVA.
Fuente: Acosta, 2013.

a. Temperatura de gel o pasta (Pasting temperature)

Algunos autores la sumen como la temperatura de la gelatinización, es la temperatura a la cual los granos de almidón están absorbiendo agua y están empezando el proceso de hinchamiento.

- b. Tiempo pico (Peak time):** Es el tiempo en el cual se alcanza el máximo de viscosidad en la máxima temperatura.
- c. Pico de viscosidad (Peak viscosity):** Es el registro de viscosidad máxima, alcanzada en el tiempo pico.
- d. Fuerza de cohesión (Holding strength):** Es la viscosidad mínima durante el inicio del enfriamiento, relacionado a la liberación de agua por las moléculas de almidón.
- e. Ruptura (Breakdown):** También conocida como caída de viscosidad y es la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad media.
- f. Viscosidad final (Final viscosity):** Es la viscosidad a la cual llega la muestra después de finalizar la prueba.

g. Restitución (Seetback)

Es la diferencia entre la viscosidad media y la viscosidad final, esta asociada con la retrogradación del almidón.

Hay varios métodos para caracterizar el almidón y así seleccionar variedades o genotipos que presenten propiedades específicas. El tamaño del gránulo afecta la composición, propiedades térmicas y transiciones de fase producidas al calentar una dispersión de almidón (Singh et al., 2007). Además, la pérdida del orden de los componentes del almidón, amilosa y amilopectina puede estar relacionada con cambios irreversibles en sus propiedades, como hinchamiento, formación de pasta y disolución (Biliaderis & Zawistowski, 1990).

El viscoamilógrafo Brabender, el analizador rápido de viscosidad (ARV) y los viscosímetros rotacionales se usan para medir la viscosidad de las pastas de almidón (Rodríguez-M, Bello-Pérez, & Núñez-Santiago, 2009) y el reómetro para evaluar las propiedades viscoelásticas de los almidones (Hsu et al., 2000). El estudio de la micro-estructura de las pastas-geles de almidón es necesario para entender la relación entre composición química y propiedades viscoelásticas características (Singh et al., 2007). También, (Bello-Pérez & Paredes-López, 2009, Casarrubias Castillo et al., 2012 y Rivas González, 2006) analizaron aspectos morfológicos, fisicoquímicos y estructurales de diversos almidones, no se ha establecido la relación entre el origen y sus características para la formación de pastas o viscosidad. Por tanto el objetivo de este estudio fue evaluar la influencia del origen del almidón en sus características morfológicas, propiedades fisicoquímicas y térmicas que proviene de cereales o frutos (Pérez., 2012).

2.6.3.1. Propiedades de la pasta de los almidones

El término “pasta de almidón” engloba varios procesos: hinchamientos del gránulo, lixiviación de componentes a partir del gránulo (principalmente amilosa), y eventualmente la desintegración del gránulo; la amilopectina es la principal responsable del hinchamiento y viscosidad de la pasta del almidón (Tester & Morrison, 1990). Durante el hinchamiento de los gránulos, los puentes de hidrógeno entre las cadenas de almidón se disocian y son remplazados con puentes de hidrógeno con las moléculas de agua, lo cual incrementa la viscosidad. La

amilosa es el principal componente que lixivia el granulo y la concentración de la amilopectina solubilizada, incrementa conforme a la temperatura aumenta. En general, las propiedades de formación de la pasta de los almidones son afectadas por la concentración del almidón, estructura molecular de la amilopectina, tamaño de granulo y contenido de componentes minoritarios (Srichuwong et al., 2005).

El diámetro de los gránulos de almidón de los cereales puede variar entre 3-20 μ m, el almidón de palma tiene un diámetro medio de 50 μ m; todos los gránulos naturales son birrefringentes y observados con luz polarizada muestran una sombra característica en forma de cruz (cruz de malta) en el centro morfológico del grano, así se puede apreciar que hay un alto grado de orientación molecular. Los gránulos de almidón se hinchan progresivamente cuando se calientan en agua a 60-70 °C; se disuelven los polímeros lineales más cortos; a temperaturas más altas, los gránulos se gelatinizan. Con la gelatinización se pierde birrefringencia, se desintegra el gránulo y se forma una pasta, un gel o una solución según el origen y la concentración del almidón según Acosta Osorio, (2013).

Los cambios de viscosidad en las dispersiones de almidón durante el calentamiento, comúnmente son medidos con instrumentos llamados viscoamilografo (Brabender) y analizadores rápidos de viscosidad. Estos aparatos llevan a cabo programa de mezclado, calentamiento y enfriamiento, que generan perfiles de gelatinización y retrogradación altamente reproducibles. Las unidades de medida son unidades brabender y unidades de viscosidad rápida, para un viscoamilografo y respectivamente (Thomas et al., 2001).

En la industria del almidón es de vital importancia determinar sus diferentes propiedades, están van a determinar su uso. Con este propósito se han diseñado diferentes equipos y metodologías entre ellas destacan el RVA. En ellos se simulan los diferentes procesos que pueden llegar a tener diferentes formas y tamaños (Acosta Osorio, 2013).

A. Gelatinización

La gelatinización es una propiedad en la cual el almidón, al estar en presencia de un solvente y calor, ocasiona una disrupción en el orden molecular dentro del granulo la Figura 5 Muestra el proceso de gelatinización que ocurre en un gramo de almidón. Inicialmente las dobles

hélices de las moléculas se encuentran desordenadas (A), si a estas dobles hélices se les suministra o está en presencia de un solvente (normalmente agua) y/o, pueden llegar a absorber una cantidad pequeña de solvente ocurriendo una transición de desorden-orden (B), que puede llegar a ser reversibles si la temperatura alcanzada es baja (por debajo de 60°C). Finalmente, si a estas dobles hélice ya ordenadas se les continúa el suministro de calor, ellas absorben el solvente ocasionado su disrupción y terminando el proceso conocido como gelatinización del almidón, donde estas dobles hélices terminan como cadena ramificada.

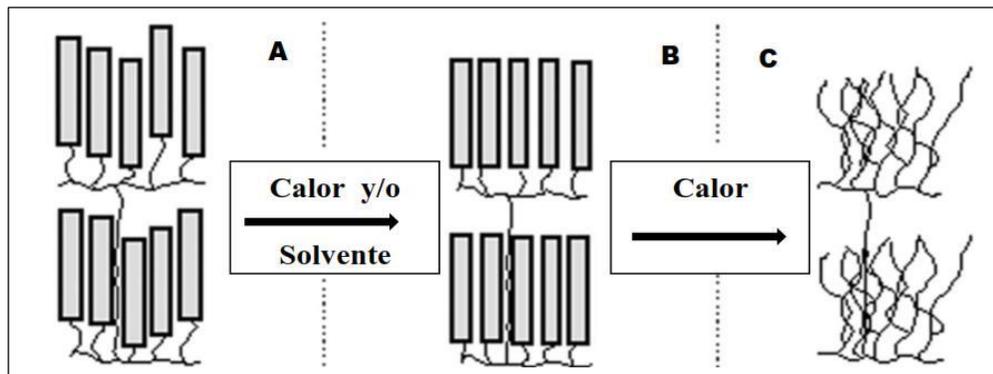


Figura 8. Proceso de gelatinización del almidón.
Fuente: Acosta Osorio., 2013.

El almidón por naturaleza es insoluble en agua fría debido a la estructura que presenta, al mezclarse en una suspensión acuosa, los gránulos absorben agua provocando un ligero hinchamiento y regresa a su tamaño original al ser sometido al secado. La gelatinización es la modificación que ocurre cuando los gránulos de almidón en soluciones acuosas y con la aplicación de calor, estos se hinchan debido a que absorben agua hasta un punto donde desaparece la estructura ordenada (pérdida de la birrefringencia) incrementándose la solubilidad del almidón. En la Figura 4, se presentan los cambios del almidón al ser sometido a un proceso hidrotérmico. Inicialmente el gránulo de almidón se encuentra intacto, al aplicarle calor o una fuente de energía mecánica, enzimática y/o un ambiente químico, pierde su estructura y por consiguiente la pérdida de peso molecular. Durante la gelatinización ocurren cambios irreversibles en los que se incluyen la pérdida del orden; este comportamiento puede representar en una curva de viscosidad, la cual puede ser obtenida por un analizador rápido de viscosidad (RVA) (Figura 5), en la cual se muestran los parámetros como el pico de viscosidad máxima y

el tiempo en que se obtiene, así como la temperatura de formación de pasta o gel (viscosidad final) antes del rompimiento y la lixiviación de la amilosa (Casarrubias Castillo et al., 2012) (Rivas González, 2006).

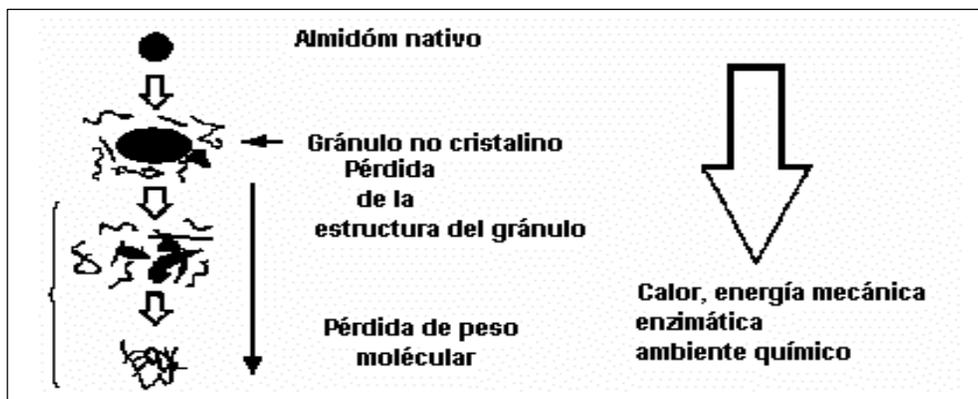


Figura 9. Comportamiento del almidón durante la conversión en exceso de agua.
Fuente: Rivas González, 2006.

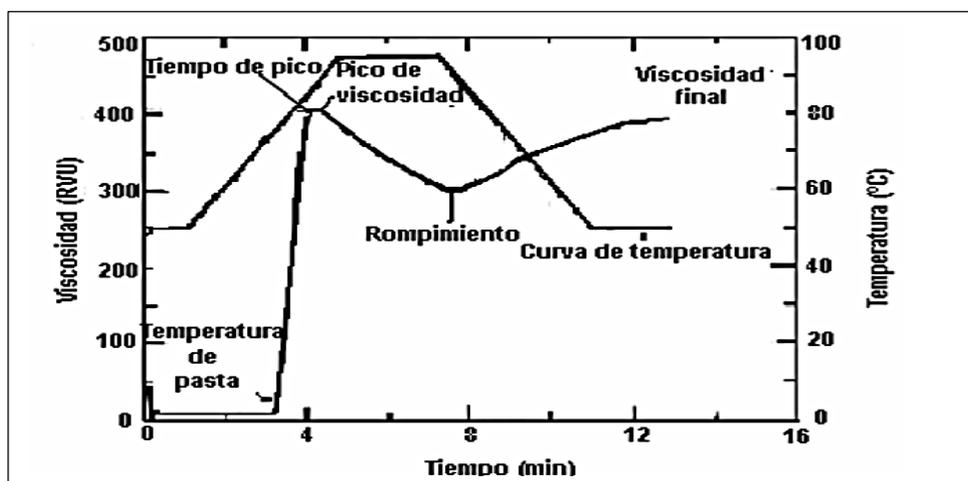


Figura 10. Curva típica de analizador rápido de viscosidad del almidón.
Fuente: Rivas González, 2006.

B. Retrogradación

La retrogradación se presenta durante el almacenamiento prolongado de las dispersiones de almidón gelatinizado. Las moléculas de almidón que, tras la gelatinización, se presentan en forma amorfa, gradualmente se reasocian formando cristales, que están compuestos por las dobles hélices del almidón. La formación de doble hélices se debe a interaccionar hidrofóbicas y puentes de hidrogeno, las cuales se forman entre las cadenas del almidón. Las moléculas de

amilosa retrogradan mucho más rápido que las moléculas de la amilopectina. Las formaciones de doble hélices en las moléculas de amilosa se presentan inmediatamente después de la gelatinización, por lo cual, la amilosa es la responsable de los cambios reológicos iniciales de las pastas de almidón. Por su parte, la retrogradación de la amilopectina es más lenta, y puede presentarse a lo largo de días o semanas, debido a su estructura altamente ramificada. La velocidad de retrogradación depende de varios factores como: la longitud de las cadenas de la amilopectina, de la concentración de lípidos y derivados mono éster y fosfato por (Espinosa S. & Bello P., 2008).

La retrogradación es la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de la amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus grupos hidroxilos; se pueden llevar a cabo por diversos factores que dependen de la concentración de la temperatura del sistema por Rivas González, (2006).

El fenómeno de retrogradación es un proceso complejo que depende de diversos factores, como el pH, la presencia de solutos como lípidos, sales, azúcares, el tipo de concentración de almidón se gelatiniza y se enfría, está retrograda implicando cambios en la estructura cristalina y por consiguiente de sus propiedades mecánicas. En un estudio de calorimetría diferencial de barrido realizado por Paredes-López et al., (1994) , el almidón de amaranto, encontraron una menor tendencia a la retrogradación después de almacenarlo durante siete días, lo cual fue observando en una endoterma; sin embargo, los valores entálpicos aumentaron , hasta alcanzar valores más altos que los del maíz ceroso y normal. En todos los casos, los gráficos mostraron endotermas más amplias las cuales iniciaron la temperatura menores a la de gelatinización, debido a la posible formación de cristales grandes e imperfectos. También encontraron que la amilopectina del almidón de amaranto presentó una baja tendencia a la retrogradación después de haber sido almacenado durante 21 días obteniendo endotermas pequeñas (Rivas González, 2006).

2.7. Uso industrial del almidón

La Tabla 7.

Muestran el uso industrial del almidón.

USO INDUSTRIAL DEL ALMIDÓN		
INDUSTRIA DE ALIMENTOS	Se usa como aditivo espesar, estabilizar y emulsificar. La adición del almidón mejora la textura y la apariencia.	Se usa, solo o mezclado, en la elaboración de macarrones y de diversas harinas; con estas se preparan pudines, pasteles, galletas, bizcochos, cremas helados, sopas, ensaladas, embutidos y otros productos alimenticios
INDUSTRIA DEL PAPEL	Se adiciona almidón al producto final para darle ciertas propiedades y diferente calidad. Tres características: blancura, bajo contenido de fibra y pocas impurezas.	El almidón ayuda a unir las fibras de la celulosa del papel y forma una capa superficial que reduce la pelusa y aumenta la consistencia, la solidez y la durabilidad de las hojas de papel. Esta capa delgada da también mayor resistencia mecánica al cartón.
INDUSTRIA TEXTÍL	Se emplea en el proceso de acabado del tejido, y es relativamente estable. La apariencia y la sensación textil de buena calidad de la tela.	Se aplica a la urdimbre justo antes de que esta se convierta en tejido, para que las hebras (o hilachas) sean más resistentes, flexibles, suaves y lisas.
INDUSTRIA FARMACÉUTICA	Se emplea en farmacia para diluir, aglutinar, lubricar o desintegrar diversos productos sólidos.	Este almidón actúa también como absorbente, además para fabricar polvos faciales finos, polvos compactos y polvos nutritivos, en la elaboración de cremas y lociones de uso dermatológico.
INDUSTRIA QUÍMICA	Se usa en la industria química para obtener alcoholes, glucosa y acetona.	Para fabricar explosivos, colorantes, pilas secas e impresiones dentales; y en la coagulación del caucho.
MINERA	Se usa como floculante y como componente de las soluciones empleadas en la perforación de pozos de petróleo.	

Fuente: Adaptado de Alarcón M & Dufour, 2001.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de investigación

La extracción del almidón del presente trabajo de investigación se realizó en el centro de investigación en Tecnología de Alimentos (CITAL) de la escuela profesional de Ingeniería de Alimentos, de la Universidad Peruana Unión (UPeU) sede Juliaca, Puno, Perú.

3.2. Materia prima e insumos

3.2.1. Materia Prima

- ✓ Semilla de Lúcumo (*Pouteria lúcumo*) variedad “lúcumo de seda” adquirido del mercado mayorista de Arequipa

3.2.2. Materiales

- ✓ Tamices: para el tamizado del almidón se utilizó tamices (GRAN TEST, de 60 y 80 micrómetros de abertura. De serie: 24555 y 24936)
- ✓ Vasos precipitados 1000 ml (Pírex).
- ✓ Probeta 100 ml (Pírex)
- ✓ Cuchillo
- ✓ Mesa de acero.
- ✓ Pipeta con una capacidad de almacenamiento de 10 ml.
- ✓ Aspirador de pipetas de 10ml.
- ✓ Mortero de porcelana
- ✓ Placas petri
- ✓ Crisol de porcelana

3.2.3. Reactivos

- ✓ Agua destilada

3.2.4. Equipos

- ✓ Licuadora industrial marca *Thomas* con 16 tiempos de velocidad, modelo TH-780VR con máx. Poder de 1000 watts.
- ✓ Balanza analítica PIONER., modelo InCal, máxima de 210gr.
- ✓ Estufa (KERT LAB-ODHG-9030B. USA)
- ✓ Mufla (Naberthen) de 30-300°C, SN: 232102
- ✓ Refrigerador (LG GT40SGP 14 p3 silver)
- ✓ Pie de rey digital callifer (STANLEY)
- ✓ Microscopio electrónico de barrido, modelo S-3000N SEM (Hitachi Ltd, Tokyo)
- ✓ Calorímetro diferencial de barrido, modelo DSC-Q200 (TA-Instruments,EEUU)
- ✓ Difractómetro de rayos X, modelo (Rigaku, Japón)
- ✓ Viscosímetro rápido modelo RVA-4 (Newport Sci, Narabeen, Australia).

3.3. Propiedades físicas de la semilla

En el análisis físico de la semilla de la lúcuma se consideraron las siguientes propiedades.

3.3.1. Dimensión espacial, tamaño y esfericidad

Para determinar la dimensión espacial, el tamaño se seleccionaron aleatoriamente 14 semillas de lúcuma a las cuales se realizaron mediciones a tres principales dimensiones, largo (a), ancho (b) y espesor (c) usando un micrómetro digital Pie de Rey.

Tabla 8.

Determinación de la dimensión espacial, tamaño y esfericidad.

Dimensiones espaciales, tamaño y esfericidad		
*Diámetro medio aritmético (<i>mm</i>)	$D_a = \frac{a+b+c}{3}$	
Diámetro medio geométrico (<i>mm</i>)	$D_g = (a \cdot b \cdot c)^{1/3}$	a: Diámetro mayor b: Diámetro medio c: Diámetro menor
Esfericidad	$\phi = \frac{(a \cdot b \cdot c)^{1/3}}{a}$	

Fuente: *Aviara, Ibrahim, & Onuoha (2014), Ordoñez, Gely, & Pagano (2012), Dursun, Tugrul, & Dursun (2007).

Debido a que el tamaño de semilla se considera un parámetro importante en el procesamiento según Aviara, Ibrahim, & Onuoha (2014) , se determinó el diámetro medio aritmético, este fue medido en sus tres dimensiones ortogonales, diámetro mayor, diámetro medio, diámetro menor por Ordoñez et al., (2012).

El diámetro geométrico medio se calculó como la media geométrica de las tres dimensiones ortogonales y la esfericidad de las semillas de la lúcuma por Dursun et al.,(2007).

3.3.2. Propiedades gravimétricas de las semillas

Para determinar las propiedades gravimétricas se muestran en la Tabla 8.

Tabla 9.

Determinación de las propiedades gravimétricas de las semillas

Propiedades gravimétricas		
*Densidad real (kg/m^2)	$\rho = \frac{m}{v}$	m : Masa V : Volumen
Densidad aparente (kg/m^2)	$\rho_a = \frac{M_{rl} - M_{rv}}{V_r}$	M_{rl} : Masa de recipiente lleno M_{rv} : Masa de recipiente vacío V_r : Volumen de recipiente

Fuente: * Mirzabe, Khazaei, & Chegini (2012), Abdellaoui, Alaoui, & Rhaffari (2016).

Para la densidad real se determinó por el método de desplazamiento de líquido de (Mirzabe, Khazaei, & Chegini, 2012)., utilizando un Becker de 500 ml, la cual se llenó 200 ml de agua destilada; luego se sumergieron 14 semillas de lúcuma por un tiempo corto de 10 segundos, evitando que la semilla absorbiera agua. La densidad real (ρ), en g/cm^2 , de las semillas de lúcuma se determinó la relación entre el peso de las semillas (g) y volumen del agua desplazada ($1\text{ ml} = 1\text{ cm}^3$), se registró por lectura directa.

La densidad aparente se determinó mediante el procedimiento de (Abdellaoui et al., 2016), utilizando una probeta de 250 ml, en la cual se dejaron caer desde una altura de 10 cm tomada desde la abertura. Este proceso se realizó hasta alcanzar la línea que representa los 200 ml. La masa de la semilla de la lúcuma contenida en el recipiente fue dividida por el volumen del cilindro representado por la probeta que permitió determinar la densidad aparente.

3.3.3. Rendimiento de la Parte Extraíble del Almidón (PEA)

Las semillas tienen una capa dura y brillante que protege la castaña o parte rica en almidón. A esta parte lo denominaremos Parte Extraíble de Almidón (PEA). El rendimiento de la PEA se obtuvo pesando las semillas enteras, luego la capa protectora y la PEA mediante una balanza analítica. El porcentaje se determinó según la Tabla 11.

Tabla 10.

Rendimiento de PEA

Rendimiento de la parte extraíble de almidón

$$\% \text{ Cáscara} = \frac{\text{Peso de Cáscara}}{\text{Peso total}} * 100$$

$$\% \text{ Semilla} = \frac{\text{Peso de PEA}}{\text{Peso total}} * 100$$

3.3.4. Extracción del almidón de las PEA's

Las PEA's fueron acondicionadas de acuerdo a la metodología descrita por Pumacahua Ramos, (2014), con algunas modificaciones para esta investigación:

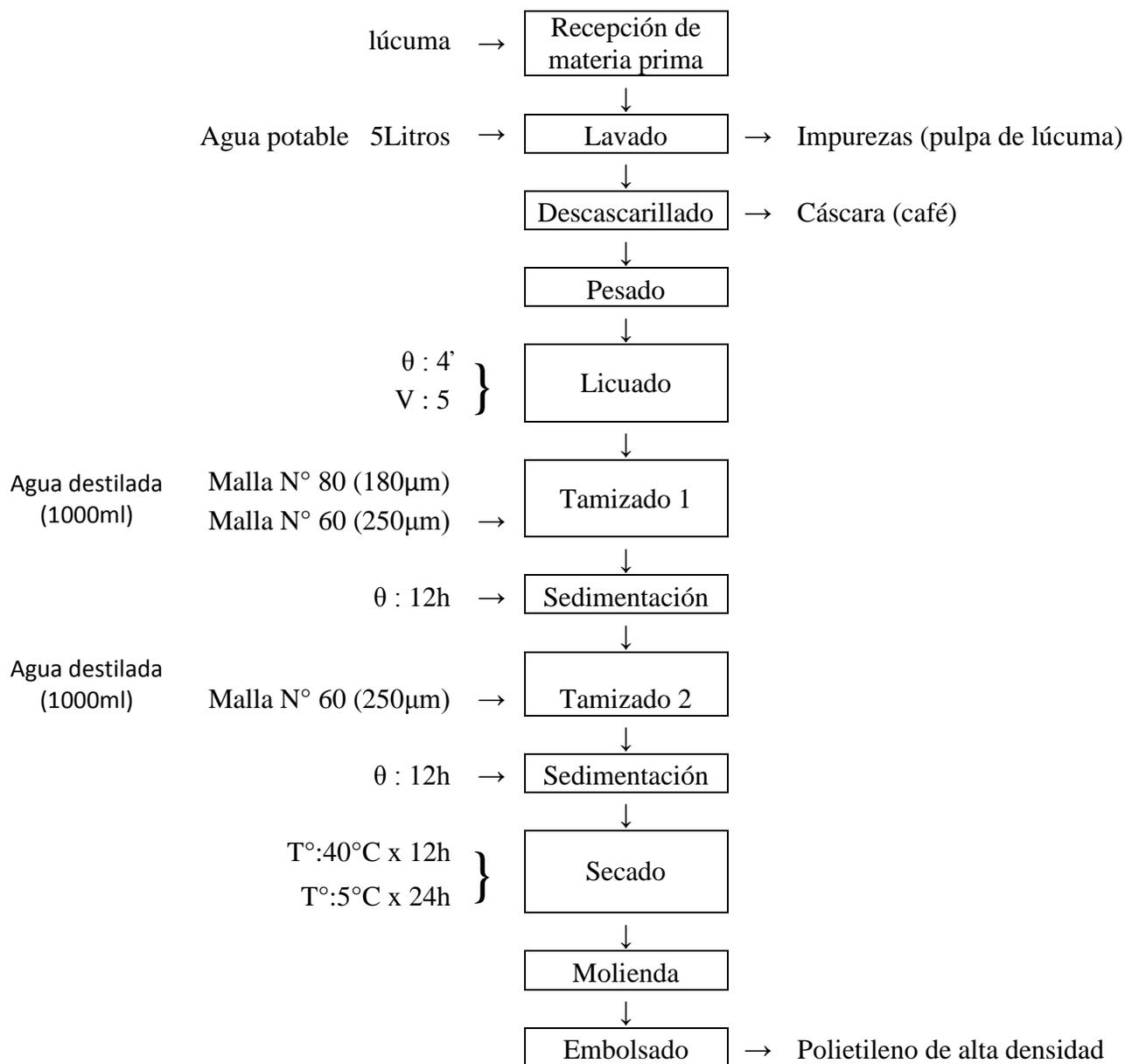


Figura 11. Diagrama de flujo para la extracción del almidón de la semillas de lúcuma. Adaptado de Pumacahua Ramos, 2014.

3.3.4.1. Descripción del proceso

a. Recepción de la materia prima

Se recibieron las frutas de lúcuma donde se desarrolló manualmente, retirando la cáscara verde, la pulpa, luego la semilla.

b. Lavado

Para el lavado de las semillas de la lúcuma se usó 5 litros de agua potable, a las semillas frescas, se realizó con la finalidad de eliminar el resto de pulpa de lúcuma.

c. Descascarillado

El descascarillado se desarrolló manualmente retirando el tegumento (cáscara café) de la parte interna blanca.

d. Pesado

El pesado se realizó en una balanza electrónica con una capacidad de 10kg, donde se pesaron 1600gr de semilla de lúcuma, el pesado del almidón se realizó en una balanza analítica con una capacidad de 210gr, se realizó con la finalidad de determinar el rendimiento de las semillas de lúcuma.

e. Cortado y Triturado (Licuado)

El cortado se realizó con la finalidad de poder reducir el tamaño de las semillas de lúcuma, para ponerlos en la licuadora, y facilitar la trituration o licuado de las semillas de la lúcuma, para ello se utilizó un cuchillo.

El triturado se realizó por medio de un equipo, licuadora marca *Thomas* con 16 tiempos de velocidad, con una velocidad de 1000 watts, para liberar los gránulos de almidón y se depositan en agua destilada formando una solución homogénea y opaca.

f. Tamizado 1

En esta operación consiste en separar el material fibroso de la solución que contiene los gránulos de almidón, el residuo obtenido se lavó con 1000 ml de agua destilada para retirar todo

el almidón, hasta que en el efluente sea cristalino, obteniendo una solución con dos fases una líquida sobrenadante cristalina y un sólido precipitado homogéneo blanco, se pasaron por un medio de mallas metálicas o tamices de una abertura (micrómetros) de la medida de N°80 (180 μ m) y 60 (250 μ m)

g. Sedimentado

La claridad del almidón depende de la correcta operación de sedimentación, esta se realizó en vasos de precipitación donde se depositaron las lechadas para su sedimentación por 12h en refrigeración y así obtener la precipitación del almidón.

h. Tamizado 2

Se separó el sobrenadante con una pipeta, luego el residuo obtenido se hizo un segundo lavado con agua destilada, para eliminar las mucoproteínas y reducir la presencia de grasas, se usó un tamiz de una abertura (micrómetros) de las medidas de N° de 60 (250 μ m)

i. Sedimentado

La solución obtenida se dejó sedimentar por 12h en refrigeración a una temperatura de 5°C.

j. Secado

El secado se realizó en secador de cabina por flujo de aire caliente (Estufa) 40°C por 12h, ver Anexo 12 donde el almidón húmedo con restos de agua se colocó y se laminaron con un espesor homogéneo. Al desecar un sólido con aire caliente, el aire aporta el calor sensible y el calor latente de evaporación de la humedad y también actúa como gas portador para eliminar el vapor de agua que se forma en la vecindad de la superficie de evaporación, el sólido húmedo se deseca en una corriente de aire que fluye paralelamente a la superficie de desecación según (Valiente Montes & Pazos Cribillero, 2014)

El secado por flujo de aire frío (Refrigeración) por 24h, ver Anexo 11 donde el almidón húmedo con restos de agua se colocó y se laminaron con un espesor homogéneo. El secado a bajas temperaturas se parece al secado en el campo. El producto puede perder humedad hasta

que se alcance el equilibrio entre la humedad del aire; como este tipo de secado es lento, (Hermoza Gamboa, 2017)

La diferencia entre los dos tipos de secado esta es el tipo de movimiento del aire; en el secado a bajas temperaturas el aire, por accion de un ventilador, en tanto que el secado en el campo se produce por el movimiento natural del aire (viento) (Hermoza Gamboa, 2017). Durante los ultimos años, ha habido un interés creciente de los consumidores por alimentos de alta calidad que conserven al maximo sus propiedades nutricionales, el secado a bajas temperaturas proporciona productos deshidratados con cambios minimos en su composición (Guerrero, García Perez, & Cárcel, 2009).

k. Molienda

En este proceso se realizó, con la finalidad de obtener un almidón pulverizado para su posterior uso. El almidón que se obtuvo se molió en un mortero de porcelana, hasta obtener un almidón pulverizado y homogéneo.

l. Embolsado

Se realizó en bolsas de polietileno de alta densidad, para proteger al producto de la humedad, el vapor y el oxígeno causantes del deterioro.

3.3.5. Propiedades fisicoquímicas del almidón de lúcuma

3.3.5.1. Humedad

Se utilizó el método 925.10 de la AOAC. Se utilizaron 3 g de muestra, los cuales se colocaron en placas Petri previamente puestas a peso constante, se dejaron en una estufa a una temperatura de 105 °C por 12h. Por diferencia de pesos se calculó el porcentaje de humedad. Para ver más detalles ver el Anexo 1.

3.3.5.2. Cenizas

Se determinó mediante el método N° 923.03 de laAOAC. Se utilizaron 3 gramos de muestra, los cuales se colocaron en crisoles de porcelana previamente puestos a peso constante. Se calcino en una mufla marca Fisher Scientific, Isotemp Muffle Furnace (Modelo 550-126) a

una temperatura de 550 °C hasta obtener cenizas de color blanco o gris claro. Por diferencia de pesos se calculó el porcentaje de cenizas. Para ver más detalles ver el Anexo 2.

3.3.5.3. Proteínas

Esta determinación se realizó por el método semimicro Kjeldahl. Se considera 6.25 como factor de conversión de nitrógeno a proteína. Norma técnica peruana. Para ver más detalles ver el Anexo 3.

3.3.5.4. Lípidos

Se usó el método Soxhlet, utilizando como disolvente el hexano, Norma técnica peruana 205.006. Para ver más detalles ver el Anexo 4.

3.3.5.5. Carbohidratos

Se determinó por diferencia de la composición porcentual de la humedad, ceniza, grasa y fibra bruta.

3.3.6. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Este análisis se realizó en el laboratorio de microscopía de la Universidad Estadual de Ponta Grossa PR, Brasil. Las muestras de almidón fueron enviadas debidamente rotuladas e identificadas.

La microscopía electrónica de barrido (MEB) permite conocer las características de forma y las dimensiones axiales de los gránulos de almidón. Para esto se utilizó el microscopio electrónico de barrido, modelo S-3000N SEM (Hitachi Ltd., Tokio, Japón). Una cinta adhesiva de doble cara fue pegada al soporte conductor de electrones y el almidón se dispersa en la cinta. Los almidones se recubrieron con oro durante 60s a 50mA uso de un ion E-102 por pulverización catódica (Hitachi Ltd., Tokio, Japón). Los gránulos se examinaron bajo las siguientes condiciones: voltaje de 15,0 kV emisión de 100 mA, alto vacío (10,4 Pa) y distancia de trabajo 18,9-19,9 mm con 5000x y 18,000x de magnificación.

3.3.7. Propiedades térmicas del almidón

3.3.7.1. Difracción de Rayos X (DRX)

La difracción de rayos X (DRX) permite conocer la cristalinidad relativa y tipo de almidón. Para esto se obtuvieron un difractómetro de rayos X, modelo Ultima 4 (Rigaku, Japon), como muestras se dispersaron en una celda de vidrio rectangular que contiene un bajo relieve (20 x 20mm, espesor de 0.15 centímetros). Los parámetros fueron tensión de aceleración de 40 kV y corriente de 30 mA, ángulo de difracción de exploración de 3 y 80° con una velocidad de 2°/ min, la radiación ($\lambda= 1,5406 \text{ \AA}$).

3.3.7.2. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Las curvas de DSC fueron obtenidas usando un sistema de análisis térmico, modelo DSC-Q200 (TA-Instruments, EE.UU.). Las muestras se calentaron de 30 a 100 °C a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. Un crisol de aluminio vacío y sellado se utilizó como referencia para equilibrar un total de muestra de la capacidad de calor. Los parámetros de gelificación se determinaron mediante el software (Análisis Universal de 2000).

3.3.7.3. Análisis Rápido de Viscosidad (RVA)

Las muestras de propiedades de la pasta se determinaron utilizando un viscosímetro rápido modelo RVA-4 (Newport Sci., Australia). Una suspensión de 2,5 g (11% de humedad) de almidón y exactamente 25,5 g de agua destilada fueron sometido a un ciclo de calentamiento y enfriamiento constante bajo cizallamiento constante (160 rpm), donde se mantuvo a 50 °C durante dos minutos, calentada de 50 a 95 °C por 6°C min⁻¹, y se mantuvo a 95 °C durante 5 minutos, se enfrió a 50 °C por 6 °C/min⁻¹ y se mantuvo a 50 °C durante 2 min. Las muestras se determinaron por duplicado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades físicas y gravimétricas de las semillas

La Tabla 10 muestran los resultados de las propiedades físicas evaluadas las dimensiones espaciales, tamaño, esfericidad, las propiedades gravimétricas y el área superficial específica de las semillas de lúcuma. Para ver más detalles ver Anexo 3 y 4.

Tabla 11.
Características físicas de la semilla de lúcuma.

Características físicas	Semillas de lúcuma
Diámetro mayor (<i>mm</i>)	30.22 ± 3.41
Diámetro medio (<i>mm</i>)	28.87 ± 3.01
Diámetro menor (<i>mm</i>)	24.63 ± 3.66
Diámetro medio aritmético (<i>mm</i>)	27.91 ± 3.24
Diámetro medio geométrico (<i>mm</i>)	27.78 ± 3.32
Área superficial (<i>mm</i> ²)	2456.23 ± 543.79
Esfericidad	0.92 ± 0.03
Densidad real (<i>kg/m</i> ³)	187.62 ± 49.97
Densidad aparente (<i>kg/m</i> ³)	478.26

Nota: los valores informados corresponden al promedio ± desviación estándar.

Las características físicas como los diámetros, el área superficial, la esfericidad la densidad, son parámetros importantes para el análisis de la calidad de las semillas, aplicación de la normativa existente de los mercados y forma parte fundamental para comprender los cambios que se presentan en las diferentes fases del manejo poscosecha y en los procesos industriales; asimismo, constituyen una información fundamental de ingeniería para adecuar y operar maquinas, diseñar y construir estructuras de almacenamiento y montar sistemas adecuados de transporte; además, es un parámetro fundamental para el diseño de empaques. (Araujo et al., 2014; Ribeiro et al., 2005).

El valor de la esfericidad obtenido fue de 0.918 ± 0.033 . La esfericidad es el grado de aproximación de una semilla a una esfera y en cualquier semilla es una función de sus dimensiones básicas (mayor, medio y menor). De hecho, la esfericidad es importante para deducir la forma de la semilla y el diseño del dispositivo de transporte y otros equipos de almacenamiento. Por otra parte, varios autores informaron que una alta esfericidad de las semillas les permite rodar en lugar de deslizarse durante el proceso (Koocheki et al., 2007).

La densidad aparente depende de una serie de factores como son la densidad de sus componentes, la geometría, el tamaño, las propiedades superficiales y el método de medida. La densidad aparente, da a conocer las propiedades de la materia en su conjunto para transportar, almacenar o envasar productos granulados (Razavi et al., 2007)(Koocheki et al., 2007).

4.2. Rendimiento de Parte Extraíble de Almidón (PEA)

La Tabla 12 se muestran el rendimiento de PEA, las partes de las semillas de lúcuma de la variedad seda compuesta por dos partes principales: la cáscara (café) y almendra (P.E.A), además se muestra el peso, peso promedio, porcentaje y la desviación estándar de cada una de ellas, lo cual se hicieron por triplicado. Para ver más detalles ver Anexo 5.

Tabla 12.
Rendimiento de semilla y cáscara de lúcuma.

Partes	Peso(g) *			Promedio	Desviación Estándar
Semilla	0.215	0.218	0.225	0.219	100.00 %
Cáscara (café)	0.052	0.058	0.060	0.057	25.84 %
Almendra	0.163	0.160	0.165	0.163	74.16 %

* Valores promedio de 50 semillas

Como se puede observar en la Tabla 12, la almendra, es la parte más importante de la semilla y materia prima para nuestro trabajo de investigación, que representa el 74.16 %, considerándose un valor muy aceptable.

4.2.1. Almidón extraído de la PEA

Una parte importante del desarrollo de esta investigación se centró en la extracción del almidón utilizando dos tratamientos diferentes de secado. Los resultados obtenidos pueden

apreciarse en el Anexo 8, la Tabla 13 muestran las variedades de almidones con sus respectivas referencias, donde se presenta el rendimiento expresando en base seca (%).

El mayor rendimiento obtenido fue de secado a una temperatura de 5°C es de 31.25±4.51 (51.37%), almidón secado a una temperatura de 40°C es de 29.58±4.39 (48.63%).

Tabla 13.

Rendimiento del almidón extraído a partir de la semilla de lúcum.

Tipo de Almidón	Rendimiento en base seca (%)		
^{a1} Almidón de lúcum 5°C	51.37	±	0.93
^{a2} Almidón de lúcum 40°C	48.63	±	0.88
^{b1} Almidón de plátano ¹	53.57	±	0.53
^{b2} Almidón de plátano ²	47.92	±	0.47
^{b3} Almidón de plátano ³	48.15	±	0.48
^{b4} Almidón de plátano ⁴	48.08	±	0.48
^{b5} Almidón de plátano ⁵	50.00	±	0.50
^{c1} Almidón de papa	42.02	±	3.25
^{c2} Almidón de papa	44.20	±	4.71
^{d1} Almidón de quinua VC	18.95	±	0.05
^{d2} Almidón de quinua VP	26.71	±	0.15
^{d3} Almidón de quinua VB	30.62	±	0.03
^e Almidón de yuca	89.61	±	0.02

Nota: Valores corresponden a la medida de tres repeticiones promedio ± desviación estándar.

Fuente: ^{a1, a2}Presente trabajo; ^{b1, b2, b3, b4, b5}Dávila, (2014); ^{c1, c2}Subiabre Melian, (2010)^{d1, d2, d3}; Quinto et al., (2015); ^eGarcía et al., (2013).

En la Tabla 13 se puede observar el porcentaje de rendimiento de almidón de lúcum, el mayor rendimiento fue de 51.37 ± 0.93% (5°C). otros investigadores como Dávila, (2014) reporta 50.00 ± 0.50 % y 53.57 ± 0.53% de rendimiento de almidón de plátano (tratamiento 1 y 5), seguido a (40°C) con 48.63 ± 0.88%. Lo cual son semejantes para los almidones de plátano (tratamiento 3 y 4) de 48.15±0.48 y 48.08±0.48 que fue trabajo realizado por Dávila, (2014) y similares a los almidones de papa 44.20% y 42.02% investigado por Subiabre Melian, (2010) mientras para los almidones de quinua de las variedades de negra collana, pasankalla roja, blanca Junín (Quinto et al., 2015) son inferiores a los almidones de lúcum y superior para el almidón de yuca investigaron García et al., (2013). Cabe destacar que estos valores superan al porcentaje de fuentes importantes como el almidón de papa, comparada con los resultados obtenidos, se

debe a las variedades de estudio y a las condiciones climatológicas en las que se desarrolla (Dávila, 2014).

El almidón de la semilla de lúcuma es más fácil de extraer, ya que su obtención solo requiere molienda, tamizado, separación con agua destilada, sedimentación y secado. Considerándose las pérdidas de material ocurridas durante el proceso de extracción que puede depender de factores como la variedad de lúcuma, y el estado de las semillas y el porcentaje de extracción del almidón. Pese a ser un proceso poco mecanizado y tecnificado, el método artesanal utilizado resultó ser altamente efectivo en la obtención del almidón (García et al., 2013).

4.3. Análisis proximal del almidón

En la Tabla 14 se muestran el resultado del análisis proximal de los almidones refrigerado a 5 y seco a 40°C. Las muestras fueron sometidas a distintos análisis químicos para conocer su composición proximal con el fin de determinar la calidad del proceso de extracción, a través, de la pureza del almidón de lúcuma.

Los análisis proximales del almidón de lúcuma fueron realizados en el Instituto Nacional de Innovación Agraria- INIA en el laboratorio de Análisis, estación experimental Illpa-Puno.

El contenido de humedad para dos muestras fue entre 6.26 a 14.82%. En cuanto al contenido de proteínas, para estas mismas muestras fue entre 0.68 a 0.74%; cenizas fue de 0.20 a un 0.29%; y también el contenido de lípidos fue de 0.10 a 0.23 y el contenido de carbohidratos estuvo entre 98.97 a 99.16%.

Tabla 14.

Composición química para almidón de la semilla de lúcuma

Tipo de almidón	Humedad %	Proteína (N x 6.25) %	Ceniza %	Lípidos %	Carbohidratos %
^{a1} Almidón de lúcuma 5°C	14.82	0.74	0.29	0.23	99.16
^{a2} Almidón de lúcuma 40°C	6.26	0.68	0.20	0.10	98.97
^b Almidón de Amaranto nativo	6.47 ± 0.35	1.47 ± 0.69	1.14 ± 0.01	0.27 ± 0.01	
^{c1} Almidón de Maíz (método 1)	7.65 ± 0.03	3.86 ± 0.43	0.09 ± 0.03	0.51 ± 0.04	95.52 ± 0.46
^{c2} Almidón de Maíz (método 2)	8.28 ± 0.17	1.49 ± 0.55	0.18 ± 0.01	0.13 ± 0.01	98.18 ± 0.54
^{c3} Almidón de Maíz (método 3)	6.79 ± 0.22	1.86 ± 0.11	0.22 ± 0.01	0.10 ± 0.01	97.81 ± 0.10
^{c4} Almidón de Maíz (método 4)	7.92 ± 0.22	3.02 ± 0.24	0.09 ± 0.03	0.10 ± 0.04	96.77 ± 0.24
^{d1} Almidón de papa criolla (sibaté)	14.4 -21.67 ± 1.96				
^{d2} Almidón de papa criolla (granada)	9.33 -18.40 ± 2.59				
^{e1} Almidón de papa (93 coch 9)	8.43 ± 0.28	0.62	0.10		
^{e2} Almidón de papa (chilca)	8.32 ± 0.31	0.65	0.13		
^{e3} Almidón de papa (355 con 1148)	8.13 ± 0.36	0.71	0.10		
^f Almidón de papa		1-2		0.10 – 0.50	
^g Almidón de Maíz, yuca, trigo, papa, arroz		0.10 – 0.30	0.10 – 0.30	0.10 – 0.80	
^h Almidón de Maíz y trigo		0.35 – 0.40		0.70 – 0.80	
ⁱ¹ Almidón de papa (Imilla blanca)	9.22 ± 0.06	0.58 ± 0.01	0.26 ± 0.01	0.00 ± 0.00	99.16 ± 0.06
ⁱ² Almidón de papa (Imilla negra)	9.31 ± 0.06	0.58 ± 0.02	0.29 ± 0.05	0.00 ± 0.01	99.13 ± 0.16
ⁱ³ Almidón de papa (Loc'ka)	10.25 ± 0.03	0.74 ± 0.05	0.22 ± 0.01	0.07 ± 0.02	98.97 ± 0.04
ⁱ⁴ Almidón de papa (Ocuviri blanca)	9.03 ± 0.03	0.76 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.00 ± 0.00	99.01 ± 0.00

Fuente: ^{a1, a2}Presente trabajo. ^bManni & Santiago, (2008). ^{c1, c2, c3}Tovar Benitez, (2008). ^{d1, d2}Zárate-Polanco et al., (2014). ^{e1, e2, e3}Espinoza, (2012). ^fSingh & Kaur, (2009). ^gWaterschoot et al., (2014). ^hJobling, (2004). ^{i1, i2, i3}Peña Carrasco, (2017).

A. Humedad.

La determinación de humedad se realizó por diferencia de pesos debido a la pérdida de agua por la evaporación de la misma muestra. En la Tabla 14 se presenta el resultado obtenido del contenido de humedad de los almidones, como se puede observar el almidón de las semillas de lúcuma secado a 40°C (6.26 %) y el almidón refrigerados a 5°C (14.82 %) contiene un mayor porcentaje de humedad. Según Manni & Santiago, (2008) obtuvieron un contenido de humedad de 6.47% en el almidón de *Amaranthus mantegazzianus*; lo mismo señala Tovar Benitez, (2008) El contenido de humedad de almidón de maíz oscila entre de 6.79 a 8.28%. Estos son también similares a los reportados por Zárate-Polanco et al., (2014) 7.14 – 15.93% y 7.9 – 13.8% en clones promisorios de la papa criolla, la gran variabilidad de resultados. En la industria de alimentos se requiere almidones con un contenido de humedad entre 6% y 15%, para evitar que los almidones sufran ataques microbiológicos e inestabilidad durante su conservación, mencionó Aristizábal & Sánchez, (2007). Además, según CODEX STAN 276, (2011), se exige que el producto final no supere 15% de humedad. Los porcentajes de humedad cumplen estos parámetros, por ello el almidón de dos formas de secado serian adecuados porque podrían permanecer en almacenamiento.

B. Proteína

En cuanto al contenido de proteína, los almidones de semillas de lúcuma los resultados evidencian que el contenido fue diferente, siendo menor, en secado a 40°C (0.68 %) y a diferencia de secado a 5°C (0.74 %) presentan mayor contenido de proteína. Según Espinoza, (2012) quien encontró valores de 0.62 % a 0.71 % de proteína para tres variedades de papa nativa de Chiloé; Singh & Kaur, (2009) 0.6- 2.1 % para los almidones de variedades de papa. Por lo tanto, los almidones estudiados de dos formas de secado son considerados como suficientemente puros. Además Mishra & Rai, (2006) menciona que un alto contenido de proteínas en el almidón, puede tener efectos indeseables como el sabor harinoso y la tendencia a formar espuma, los contenidos de proteína reportados en este estudio son aceptables.

C. Cenizas

Con respecto al contenido de almidones de cenizas de los almidones de la semilla de lúcuma, cuyos valores se encuentran, secado a 5°C (0.29 %) y secado a 40°C (0.20 %). Estos valores son similares a los reportados por Waterschoot et al., (2014) para almidones de Maíz, yuca, trigo, papa y arroz (0.1 – 0.3 %); además, el contenido de fósforo influye en el contenido final de las cenizas y valores mayores al 0.60%; lo cual reflejan contaminación por fibra que no estaría dentro de los parámetros de calidad recomendado para almidones industriales (Hoover & Ratnayake, 2002)

Además según los estudios realizados de los autores Alvani et al., (2011) y Pérez et al., (2014) mencionan que el bajo contenido de proteína y ceniza de los almidones indican una alta pureza, los almidones de la semilla de lúcuma secados en dos ambientes de diferentes temperaturas, presentaron contenidos dentro de los límites establecidos.

D. Lípidos

En relación al contenido de lípidos, el almidón secados en dos ambientes de diferentes temperaturas de las muestras fueron de (0.10 % - 0.23 %). Estos resultados son similares con lo reportado, según Singh & Kaur, (2009) y Waterschoot et al., (2014) para los almidones de papa, maíz, yuca, trigo y arroz (0.10%). También con lo reportado en trabajos realizados en maíz con el método 2(hidratación con NaOH al 0.1% por 18 horas), 3(25°C por 16 horas), 4(hidratación con acetato de sodio 0.02M por 24 horas). Tovar Benitez, (2008); Manni & Santiago, (2008) (0.27%) investigó para los almidones de amaranto. Además, Jobling, (2004) y Vasanthan & Hoover, (1992) reportaron para el almidón de maíz y trigo (0.70 y 0.80 %). También, para los almidones de maíz realizado por el método 1(Remojo de 500ml de agua destilada por 24 horas) (0.51 %) Tovar Benitez, (2008) reportaron un nivel superior de lípidos. y para almidones de variedad de maíz y de papa por Peña Carrasco, (2017) reportaron un nivel más bajo de lípidos (0.00 – 0.07%); respectivamente. Por lo general, los lípidos presentes en los gránulos de los almidones son ácidos grasos libres. También el alto contenido de grasas es indeseable pues podría ser responsable de sabores desagradables, se ven afectadas las propiedades funcionales

del almidón (capacidad de absorción, solubilidad y claridad) al evitar su unión con la moléculas de agua y causar rancidez durante el almacenamiento (Guízar Miranda, 2009).

E. Carbohidratos

Finalmente el contenido de carbohidratos fueron de (98.97% y 99.16%) para los almidones secados en dos ambientes de diferentes temperaturas. Estos resultados concuerdan con lo reportado en el trabajo realizado en almidones de papa (98.97% - 99.16%) según Peña Carrasco, (2017). También, son similares al almidón de Maíz (98.18) reportados por (Tovar Benitez, 2008).

También, el almidón es más puro cuando el contenido de carbohidratos es alto (Singh & Kaur, 2009), es así que en los almidones extraídos se encontraron contenido de carbohidratos (98.97 – 99.16 %).

4.4. Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

La microscopia electrónica de barrido es una herramienta que ayuda a comprender, desde una perspectiva morfológica.

4.4.1. Forma

En la Figura 12, muestran la (MEB), refrigerado a una temperatura de 5 °C y en la Figura 13, muestran la MEB secado a 40°C con 1000 x, 2000x y 5000x veces de aumento, donde se pueden observar granulos con formas de esferica o de domo y ovaladas. La superficie de los granulos presento sin presencia de poros, lo que indica un alto grado de pureza, tambien los granulos pequeños pueden absorber mayor cantidad de agua que los granulos grandes debido a la mayor area de contacto.

A. Las imágenes se muestran la MEB, en refrigerado a una temperatura de 5°C

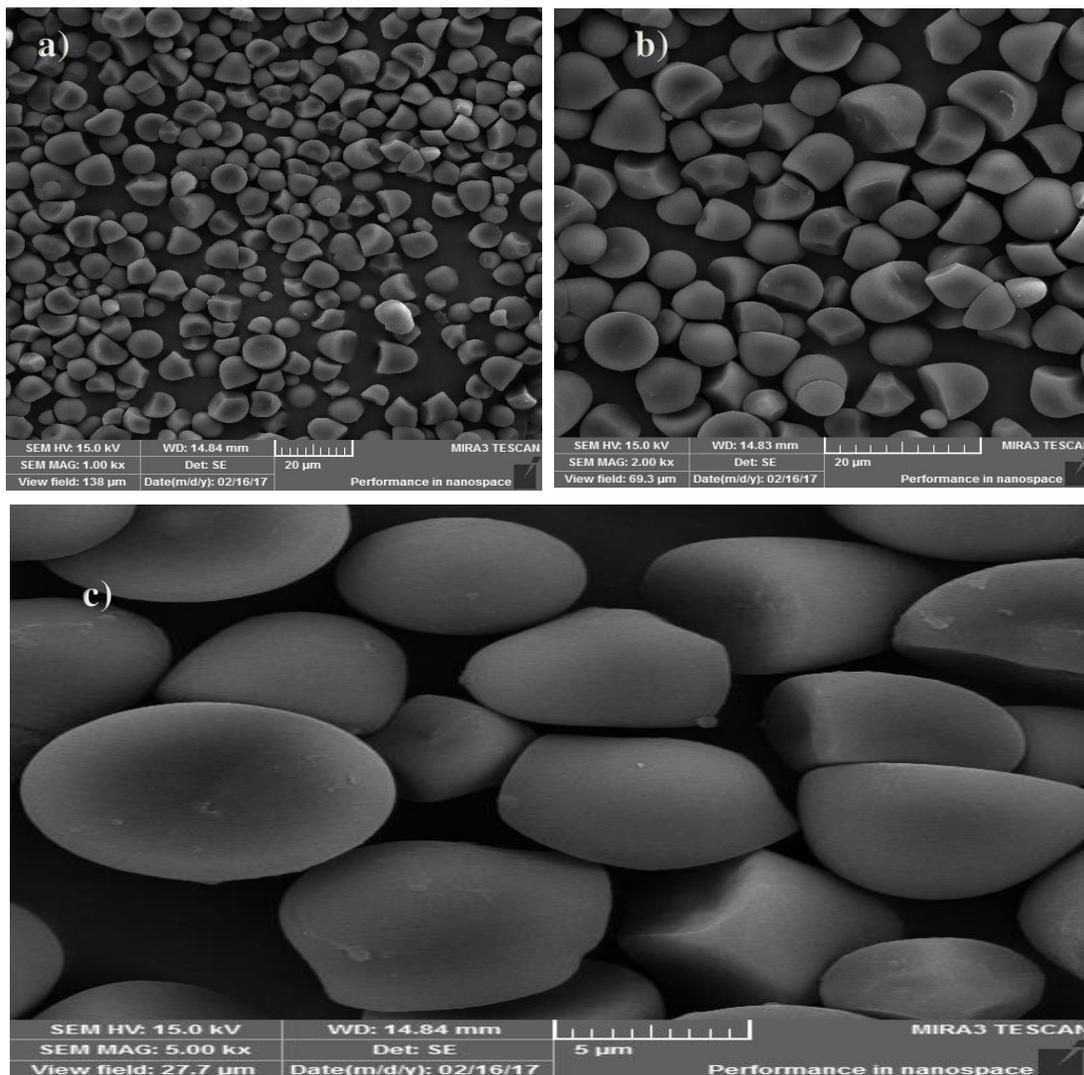


Figura 12. Microimágenes de gránulos de almidón de la semilla de lúcum a 5°C mediante el Microscopio electrónico de barrido a) 1000 X, b) 2000X y c) 5000 X de aumento.

B. Las imágenes se muestran la (MEB), secado a una temperatura de 40°C.

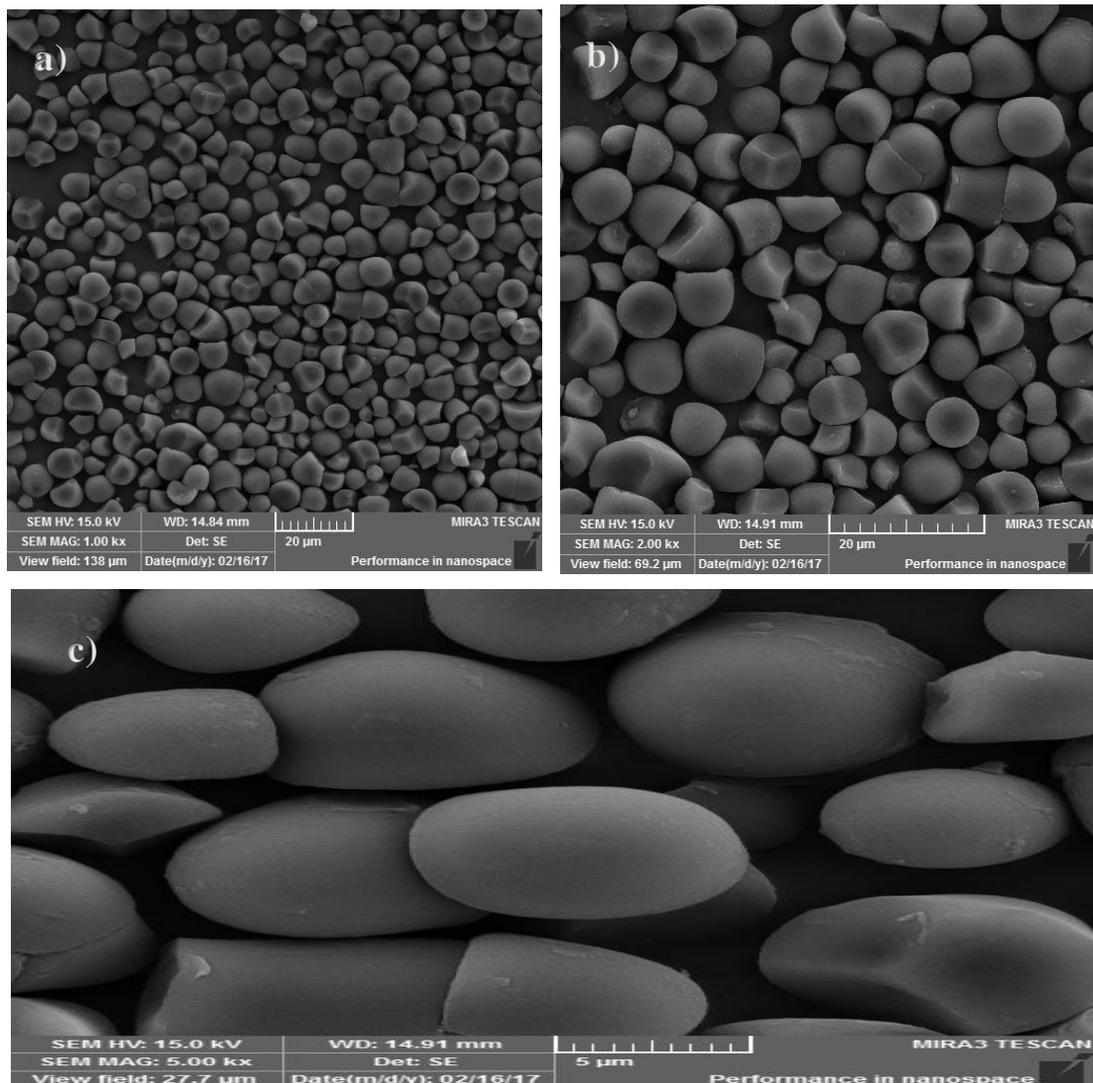


Figura 13. Micro- imagen de gránulos de almidón de la semilla de lúcum a 40°C mediante la Microscopia electrónica de barrido a) 1000 x, b) 2000x y c) 5000x de aumento

En la Tabla 15 muestran las diferentes variedades de almidones y sus respectivas formas y se mencionan con sus respectivos autores.

Tabla 15.

Resultado de formas de almidones, provenientes de diversas fuentes.

Tipo de Almidón	Formas de Almidón	Técnicas microscópicas
^{a1} Almidón de Lúcumá 5°C	Esféricas o de domo y ovalada	M.E.B.
^{a2} Almidón de Lúcumá 40°C	Esféricas o de domo y ovalada	M.E.B.
^{b1} Almidón de Maíz	Esférica y ovalada	M.E.B.
^{b2} Almidón de Mango	Esféricas o de domo y puntas	M.E.B.
^{b3} Almidón de Cebada	Esféricas y lenticulares	M.E.B.
^c Almidón de Kamo Kamo	Esféricas	M.E.B.
^d Almidón de Mirabilis jalapa	Esféricas	M.E.B.
^e Almidón de Ramón	Esféricas y ovaladas	M.E.B.
^{f1} Almidón de Yuca	Esférica y redonda	M.O.A.R
^{f2} Almidón de Papa	Ovoide y redonda	M.O.A.R
^{f3} Almidón de Ñame	Redonda y lenticular	M.O.A.R

Fuente: ^{a1,a2} La presente investigación. ^{b1,b2,b3}Casarrubias Castillo et al., (2012). ^c Singh et al., (2007).^dPumacahua Ramos, (2014). ^ePérez Pacheco et al., (2014). ^{f1,f2,f3}Alvis et al., (2008).

En la Tabla 15, se muestran forma de diversos tipos de almidón con sus respectivas fuentes. el almidón de la semilla de lúcumá secados en dos ambientes de diferentes temperaturas mostraron una forma esférica o de domo y ovaladas que coinciden con lo reportado por Casarrubias Castillo et al., (2012) para los gránulos de almidón de Mango con forma esférica o de domo y ovaladas y al almidón de maíz, utilizando con una técnica de microscópica de MEB. Además J. Singh et al., (2007) determinó los gránulos de almidón de kamo kamo con forma esféricas de 3 a 23µm de 1000x y 2000x de aumento . Pumacahua Ramos, (2014) investigo para los gránulos de almidón de Mirabilis jalapa con forma esféricas. También, Pérez Pacheco et al., (2014) investigo para los gránulos de almidón de la fruta de Ramón con forma esféricas y ovaladas de 5 a 20 µm con una aumento de 800x y 5000x. Estos resultados realizaron con unas técnicas de microscópicas de SEM. Por otro lado, investigo Alvis et al., (2008) para los almidones de yuca mostro una forma esférica y redonda, almidón de papa mostro una forma ovoide y redonda, almidón de ñame mostro una forma redonda y lenticular , estas características

se asemeja para los almidones de semilla de lúcumá, determinándose con unas técnicas de microscópicas de Microscopia Óptica de Alta Resolución.

4.4.2. Tamaño de gránulo.

En las Figuras 14 muestran las microfografías electrónicas de barrido, refrigerado a 5°C (a) con 324 gránulos y secado a 40°C (b) con 430 gránulos, para los tamaños de gránulos, se obtuvieron las medidas con el programa (ImageJ) para los gránulos de almidón de la semilla de lúcumá. Además, el promedio de los gránulos de almidón lúcumá refrigerado a 5°C y secado a 40°C, que fueron de 7,57 y 6,59 μm y con una desviación estándar de 1,80 y 1,56 μm . Además en la microscopia se puede observar que el almidón de la semilla de lúcumá está en gránulos individuales y no en cúmulos. También, el tamaño medio de esta semilla es de 20 μm . En la Tabla 16, se muestran el tamaño de algunos gránulos de almidón de diversos productos con sus respectivas fuentes.

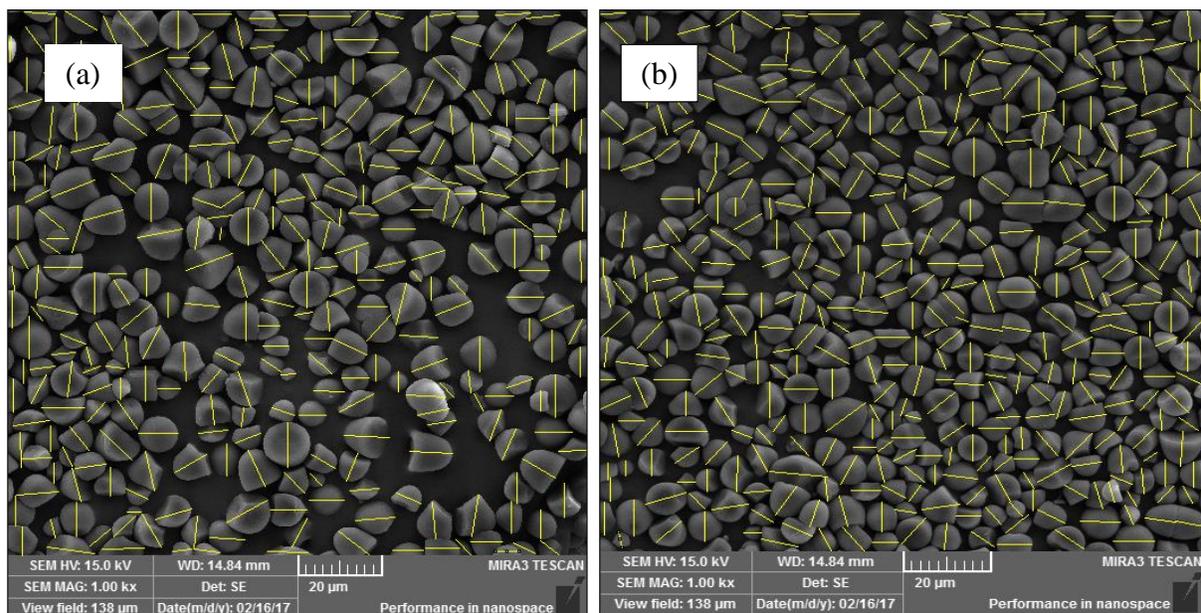


Figura 14. (a) Tamaño de los gránulos de almidón de 5°C observados a 1000x de aumento; (b) Tamaño de los gránulos de almidón de 40°C observados a 1000X.

En la Tabla 16 se muestran el tamaño de los gránulos de los almidones de diversos tipos de almidón, comparando con diferentes fuentes.

Tabla 16.

Resultados de tamaños, provenientes de diversas fuentes botánicas.

Tipo de almidón	Diámetro (μm)
^{a1} Almidón de Lúcumá 5°C	7.57 ± 1.80
^{a2} Almidón de Lúcumá 40°C	6.59 ± 1.56
^{b1} Almidón Papa (Aguila)	5.23 ± 2.38
^{b2} Almidón Papa (Shuita)	6.10 ± 1.17
^c Almidón Papa (NG-65)	7.29
^{d1} Almidón Maíz	11.5 ± 4.30
^{d2} Almidón Ahipa	8.85 ± 4.30
^{d3} Almidón Mandioca	9.42 ± 3.71

Nota: los valores informados corresponden al promedio ± desviación estándar

Fuente: ^{a1, a2}Presente trabajo. ^{b1, b2}Jane Grace, (2017). ^cRobles Oñate, (2012). ^{d1, d2, d3}López, (2011).

Según los resultados de la Tabla 16, se observó el tamaño de los gránulos es heterogéneo con los valores promedio y desviación estándar de los almidón de lúcumá secados en dos ambientes de diferentes temperaturas, refrigerados a 5°C $7.57 \pm 1.80\mu\text{m}$ son semejantes al tamaño de los gránulos de almidón de la papa negra $7.29\mu\text{m}$. También el secado a 40°C $6.59 \pm 1.56\mu\text{m}$. Estas características son semejantes al tamaño de los gránulos de almidón papa (Shuita) (b2) que va de $6.10 \pm 1.17\mu\text{m}$ los almidones poseen gránulos pequeños. En cambio, los almidones de Maíz, Ahipa, mandioca son superiores y algunos inferiores al tamaño de los gránulos de almidón de lúcumá. También, Robles Oñate (2012), quien observó que el almidón de papa muestra un tamaño, en un rango de distribución que va de 7.29 a $76.2\mu\text{m}$, lo que significa que dichos almidones poseen gránulos pequeños, medianos y grandes además indica que los gránulos del almidón de papa tiene un diámetro que oscila de 5 a $100\mu\text{m}$.

Según Jiménez Ramos & Martínez de la Cruz, (2016), el tamaño de los gránulos de almidón se clasifican como gránulos grandes ($> 25\mu\text{m}$), gránulos medianos ($\geq 10 \leq 25\mu\text{m}$), gránulos pequeños ($\geq 5 \leq 10\mu\text{m}$) y gránulos muy pequeños ($< 5\mu\text{m}$), de acuerdo a esta definición podemos decir que el almidón de lúcumá variedad seda, presentaron gránulos pequeños ($\geq 5\mu\text{m} \leq 10\mu\text{m}$). Para esos tipos de almidones con gránulos pequeño presentan mayor solubilidad y alta capacidad de absorción de agua según Jane Grace, (2017) .Además, Singh et al., (2003) reportaron que a menor tamaño del gránulos de almidón la velocidad del hidrolisis aumenta pues se presenta una mayor área superficial, por lo que estos almidones podrían utilizarse como

posible sustratos para la producción de diferentes compuestos de interés industrial, entre ello, la dextrina, ciclodextrinas se utilizan en la industria farmacéutica (polvos faciales), fructosas que sirve como base de jarabe utilizado en muchos alimentos preparados, entre otros. Además Pumacahua-Ramos et al.(2015) menciona que los gránulos con diámetros pequeños producían geles con mayor firmeza, tienen mejor procesabilidad, caracterizados como fluidos en la masa del almidón para fábrica de tallarines y tenían mejor calidad. También, Prieto et al., (2009), menciona el tamaño de partículas incluyendo la distribución de tamaños, es una de las características que más afectan a las propiedades funcionales de los gránulos de almidón. Además para Singh et al., (2007), el tamaño de los gránulos se relaciona de manera directa con la fuente de obtención, por lo que son utilizados como criterios taxonómicos para identificar la fuente vegetal del almidón.

Según Barreto et al., (2012), menciona un tamaño pequeño de granulo influye de manera positiva en la digestibilidad y biodisponibilidad que asciende hasta un 96% del mismo, siendo apropiado para la formulación de alimentos para niños y personas en convalecencia; del mismo modo, los almidones se pueden hidrolizar a glucosa y utilizar como edulcorantes o como materia prima para la elaboración de películas plásticas.

Ríos-Ríos, (2014), menciona el diámetro del granulo está relacionado íntimamente con el área superficial expuesta para que se lleven a cabo diferentes procesos, ejemplo de ello es la transferencia de calor, a menor área mayor transferencia y menor tiempo de cocción. Sin embargo Sandhu et al., (2004) reportan que la presencia de estas características en la superficie del granulo se presenta en ocasiones de manera natural.

Por otro lado, para los gránulos de almidón de papa, en promedio en tamaño del granulo varia de 1 a 20 μ m para los pequeños y 20 a 100 μ m para gránulos grandes. El grado de variación es la estructura granular de almidones de cultivar es bastante alto en las papas en comparación con otras fuentes botánicas de almidón. Curiosamente, los pequeños gránulos de almidón de papa son esféricos o de forma oval, pero los grandes son generalmente elipsoidales a cubicas o de forma irregular (Mishra & Rai, 2006).

4.5. Análisis térmicas del almidón

4.5.1. Difracción de Rayos X (DR X)

En la Figura 15 y 16, se muestran el difractograma (DR X) para los almidones de lúcuma secados en dos ambientes de diferentes temperaturas, refrigerados a 5°C con sus respectivos grados, con picos de intensidad se presentan a , 15°,17°y 22.9 (fuerte), 17.7°, 20° (media), y en 10°(débil) y con un grado de cristalinidad de 43.91 %. También, para el almidones secados a 40°C con picos de intensidad se presentan a, 14.8°16.9°, 22.8° (fuerte), 17.9°, 20.1° (media) y en 5°, 10.1° (débil) y con un grado de cristalinidad de 38.6%. Para los dos tratamientos, los ángulos de 2θ mostraron patrones de cristalinidad de tipo C, el cual se considera una mezcla de los patrones tipo A y B. Este patrón es típico de almidones de legumbres (Zobel, 1988) y de almidones de frutas y tubérculos tropicales (Luengwilai & Beckles, 2009).

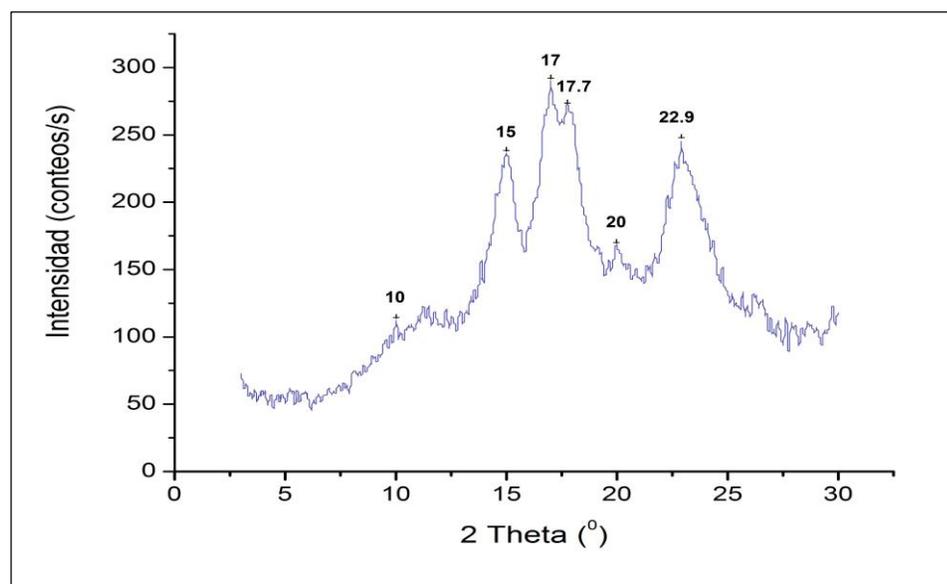


Figura 15. Resultados del rayos X del almidón de lúcuma refrigerados a 5°C.

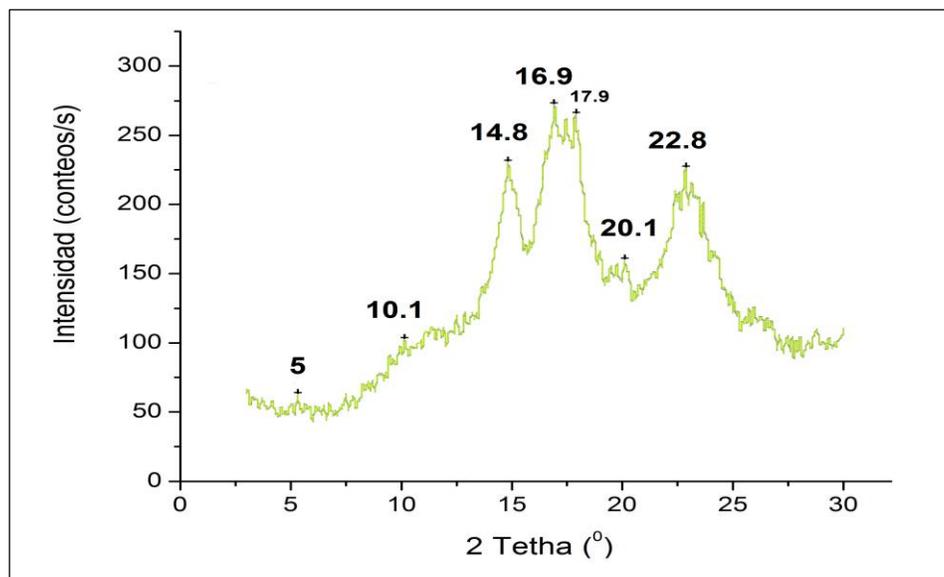


Figura 16. Resultados del rayos X del almidón de lúcuma secado a 40°C.

Tabla 17.

Datos obtenidos de los gráficos de Difracción de rayos X (RDx) para los almidones de semilla de lúcuma seco a 5 y 40°C.

Tipos de Almidones	Ángulos de difracción 2θ ($^{\circ}$)	Grado de Cristalinidad (%)	Tipo de Cristal
^{a1} Almidón de lúcuma 5°C	10, 15, 17, 17.7, 20, 22.9	43,91	C
^{a2} Almidón de lúcuma 40°C	5, 10.1, 14.8, 16.9, 17.9, 20.1, 22.8	38,6	C
^{b1} Almidón de mandioca	5.5, 15.4, 17.0, 18.0, 20.0, 23.5	54.51 + 1.33	C
^{b2} Almidón de ahípa	5.5, 15.4, 17.0, 18.0, 20.0, 23.6	69.86 + 1.57	C
^c Almidón de plátano	5, 15, 17, 23	47-78	B
^d Almidón de plátano (guineo)	14, 15, 17, 18, 20, 23, 24, 25		B
^e Almidón de plátano (nativo)	7, 15, 17, 18		C
^a Almidón de jícama	5.64, 15.06, 17.65, 23.57		C
^{g1} Almidón nativo de plátano	5, 10.9, 14.8, 16.9, 22.9		C
^{g2} Almidón nativo de mango	15, 17.5, 18, 22.9		B

Fuente: ^{a1, a2}Presente trabajo; ^{b1, b2}López, (2011); ^cSánchez et al., (2016); ^dLucas et al., (2013); ^eLawal et al., (2008); ^fRamírez-Miranda et al., (2016), ^gManrique Quevedo et al., (2007)

Los almidones de la semilla de lúcuma secados en dos ambientes de diferentes temperaturas tienen un patrón de difracción de rayos X de tipo C (Tabla 17); los almidones de la semilla de lúcuma presenta una estructura cristalina que en este estudio mostro picos de intensidad para ángulos de (2 Theta) a (temperatura de secado 40°C) con 5°, 10.1°, 14.8°, 16.9°,

17.9°, 20.1° y 22.8°. Además, (temperatura de secado 5°C) con 10°, 15°, 17°, 17.7°, 20°, 22.9°. Se observó con menos picos de intensidad para los ángulos de (2 Theta) similares fue reportada por López, (2011) para los almidones de mandioca y ahipa en cuanto a la cristalinidad que son de 54% y 69% son superiores a los almidones de lúcuma . También, reportados por Sánchez et al., (2016) para el almidón de plátano y con una cristalinidad de 47% similar al almidón de lúcuma. (Lawal et al., 2008) investigo almidones nativo de plátano con un tipo de cristal de tipo C y para los almidones de jícama por Ramírez-Miranda et al., (2016), son semejantes para los almidones de lúcuma.

Por otro lado, Lucas et al., (2013); Sánchez et al., (2016); Manrique Quevedo et al., (2007), realizaron las muestras del almidón de plátano Guineo, plátano y mango presentando un patrón de tipo B.

El almidón de lúcuma mostró un patrón de difracción de rayos X tipo C, el cual se considera una mezcla de los patrones de tipo A y B. cuando los almidones se someten a tratamientos con altas temperaturas, se provoca la fragmentación del granulo y se pierde su cristalinidad, dando como resultado un estado amorfo (Manrique Quevedo et al., 2007). (Bello-Perez et al., 2006), menciona, el estado amorfo indica la gelatinización casi completa del almidón y provoca que los almidones sean más solubles en agua.

Según, Pardo et al., (2013), menciona, la cristalinidad en almidón está asociada con el contenido de amilopectina y la fase amorfa con la amilosa; la importancia de la caracterización de almidones radica en su utilidad en el momento de seleccionar la materia prima para la industria alimentaria.

4.5.2. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

En la Figura 17 y 18 , se muestran la temperatura de gelatinización del almidón de la semilla de lúcuma secados en dos ambientes de diferentes temperaturas, donde empiezan la temperatura inicial T_0 de 57.60 y 56,31 °C donde comienzan el proceso de transición de fase y la muestra empieza un cambio puede resultar casi imperceptible. En esta primera transición de fase, el agua actúa como plastificante; a esta temperatura, los polímeros con bajo peso molecular, particularmente las moléculas de la amilosa, comienzan a separarse del granulo de

almidón. A medida que la temperatura aumenta, los gránulos de almidón colapsan hasta que finalmente la parte amorfa (amilosa) queda totalmente solubilizada, mientras que la cristalina de mantiene en la solución acuosa.

Las temperaturas de pico T_P fueron de $67,72$ y $65,56^\circ\text{C}$, en ese punto donde se registra los valores más altos de absorción de calor y donde la muestra empieza a pasar a un estado gomoso gracias al inicio de la ruptura de los gránulos de almidón. Cuando el proceso está finalizando regresa a un estado en el cual no ocurren cambios en la fase ni en la composición de la muestra.

La entalpia de gelatinización ΔH_g es la energía absorbida en el proceso, los valores fueron de $8,18$ y $16,99 \text{ J g}^{-1}$, que se calcula como el área bajo la curva del pico de gelatinización y la temperatura final del proceso T_c que fueron de $74,57$ y $73,02^\circ\text{C}$.

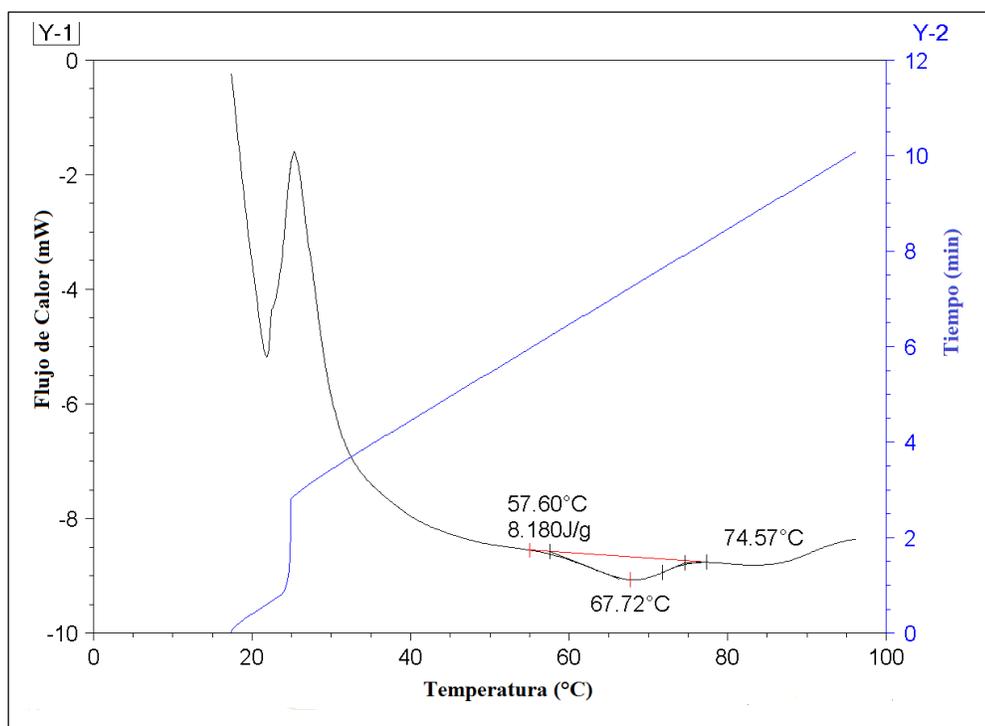


Figura 17. Resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido para los almidones a 5°C .

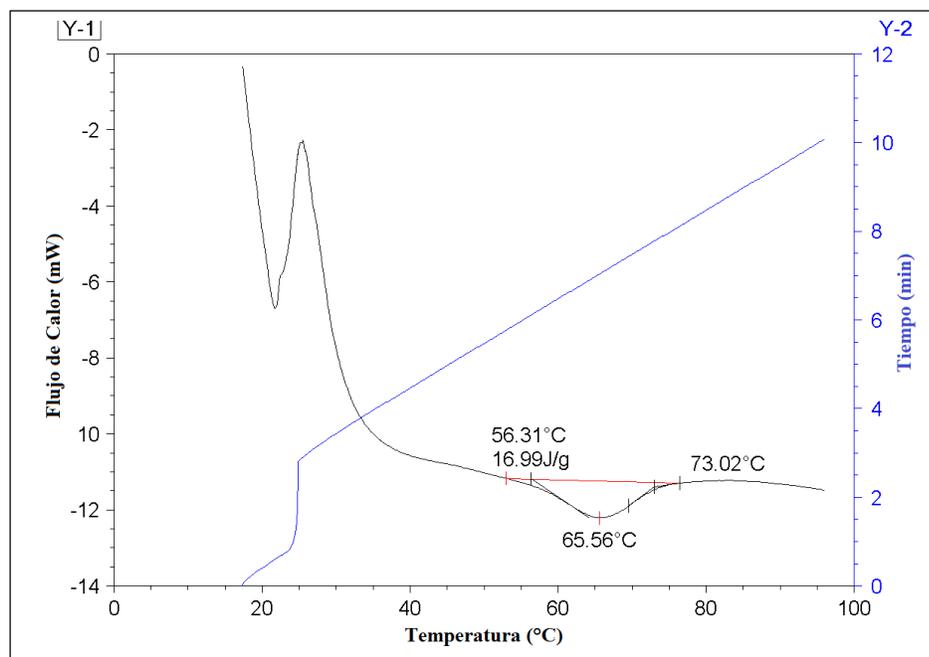


Figura 18. Resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido para los almidones a 40°C.

Tabla 18.

Resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido.

Tipo de Almidón	T ₀ (°C)	T _P (°C)	T _C (°C)	ΔH _g (J g ⁻¹)
^{a1} Almidon de lúcuma 5 °C	57,60	67,72	74,57	8,18
^{a2} Almidon de lúcuma 40 °C	56,31	65,56	73,02	16,99
^{b1} Almidon de papa (Imilla Negra) 45°C	58,09 ± 0,06	62,40 ± 0,11	69,49 ± 0,07	15,81 ± 0,08
^{b2} Almidón de papa (Loc´Ka)	56,77 ± 0,05	60,20 ± 0,12	66,31 ± 0,23	15,55 ± 0,30
^{b3} Almidón de papa (Ocuvi Blanca)	55,32 ± 0,17	58,40 ± 0,02	63,95 ± 0,16	16,10 ± 0,47
^{b4} Almidón de papa (Imilla Blanca)	59,48 ± 0,04	63,08 ± 0,13	69,24 ± 0,04	15,76 ± 0,07
^{c1} Almidón de papa (Russet Brubank) 50°C	61,5 ± 0,5	65,5 ± 0,9	73,8 ± 0,1	15,2 ± 1,1
^{c2} Almidón de papa (Innovador)	62,1 ± 0,7	67,7 ± 0,5	79,3 ± 0,0	16,5 ± 1,6
^{d1} Almidón de papa (Asterix) 4°C	64,64 ± 0,04	67,32 ± 0,12	71,13 ± 0,11	15,54 ± 0,16
^{d2} Almidón de papa (Atlantic)	65,57 ± 0,08	68,74 ± 0,00	74,26 ± 0,06	17,74 ± 0,13
^{d3} Almidón de papa (BRS clara)	64,65 ± 0,03	67,74 ± 0,00	73,44 ± 0,10	16,45 ± 0,48
^{d4} Almidón de papa (Mustang)	66,29 ± 0,18	69,08 ± 0,24	73,32 ± 0,21	16,30 ± 0,04
^{e1} Almidón de arroz (e1)	66,1	69,74	74,08	8,16
^{e2} Almidón de arroz ceroso (e2)	66,1	70,4	-	7,7

Nota: Los valores informados corresponden al promedio ± desviación estándar

Fuente: ^{a1, a2}Presente trabajo. ^{b1, b2, b3, b4}Peña Carrasco, (2017). ^{c1, c2}Chung et al., (2014). ^{d1, d2, d3, d4} Santos et al., (2016); ^{e1, e2}Singh et al., (2003).

En la Tabla 18 como se pueden observar que los almidones tuvieron un perfil de comportamiento térmico casi similares, pues presentaron un único proceso endotérmico bien definido (Alvani et al., 2011) el pico endotérmico presenta la transición de fase de almidón de estructura granular ordenando aun estado de desorden al azar, es decir, una transición desde el estado cristalino a un gel, durante la gelatinización del almidón (Liu et al., 1999).

Además, experimentos que se realizaron con los almidones de diferentes variedades de papa. La temperatura de gelatinización, mostraron diferentes significativas; los valores de T_o oscilaron entre 56.31 a 57.60 °C, que es referida como la temperatura de Peña Carrasco, (2017). ($T_o = 55.32 - 59,48$ °C) y la temperatura de pico T_p , oscilaron entre 65.56 a 67.72 °C son similares a los reportados por Chung et al., (2014) ($T_p = 65.5 - 67.7$ °C y $T_c = 73.8 - 75.2$ °C) para los almidone de papa de Canadá y (Santos et al., 2016). ($T_p = 67.32 - 67.74$ °C; $T_c = 74.26 - 73.32$ °C y $\Delta H_g = 16.45 - 16.30$ J g⁻¹) para los almidones de papa de Brasil; que también similares y a la vez cercanos al almidón de lúcumá.

La entalpía de gelatinización (ΔH_g /J g⁻¹) indica la cantidad de energía necesaria para gelatinizar el almidón y también es considerado como un indicador de la pérdida del orden molecular, debido de ruptura de enlaces de hidrogeno, dentro de los gránulos (Peña Carrasco, 2017). Para los almidones evaluados la entalpía de gelatinización osciló entre 8,18 a 16,99 J g⁻¹ para los almidones de lúcumá como se muestran en la Tabla 16. Estos resultados son similares a los reportados por (Singh et al., 2003; Chung et al., 2014 y Santos et al., 2016).

Según Singh et al. (2007) menciona que bajas temperaturas de gelatinización pueden ser causadas porque los almidones presentan un menor grado de cristalinidad, esto podría haber sucedido con el almidón secados a 40°C que mostro temperaturas de gelatinización más bajas, comparando con el almidón secado a baja temperatura 5°C. La alta cristalinidad proporciona estabilidad estructural y hace que los gránulos de almidón sean más resistentes a la gelatinización, y por lo tanto requiera mayores temperaturas para la gelatinización que los componentes amorfos (Chung et al., 2014).

4.6. Análisis Rápido de Viscosidad (RVA)

En la Figura 17 y en Tabla 19, se muestran la reológica de las pastas de almidones de lúcumas secados en dos ambientes de diferentes temperaturas a 5 y 40 °C, respectivamente.

El pico de viscosidad alcanzado durante el crecimiento del almidón de la semilla de lúcumas fue de (temperatura de secado de 5°C) con 2862.5 ± 10.61 cP, con un máximo de tiempo de pico de 5.3 ± 0.04 min., además, (temperatura de secado de 40°C) con 3102 ± 77.78 cP, con un máximo de tiempo de pico de 5.2 ± 0.05 min fueron mayores, alcanzando el máximo pico de viscosidad. Presentó una disminución en la viscosidad debido a la ruptura y es la diferencia de entre la viscosidad máxima y la viscosidad media. La tendencia a la retrogradación fue de (temperatura de secado de 5°C) con 1636 ± 11.32 cP y con un máximo de (temperatura de secado de 40°C) con 1914 ± 29.7 cP liberando agua por las moléculas del almidón.

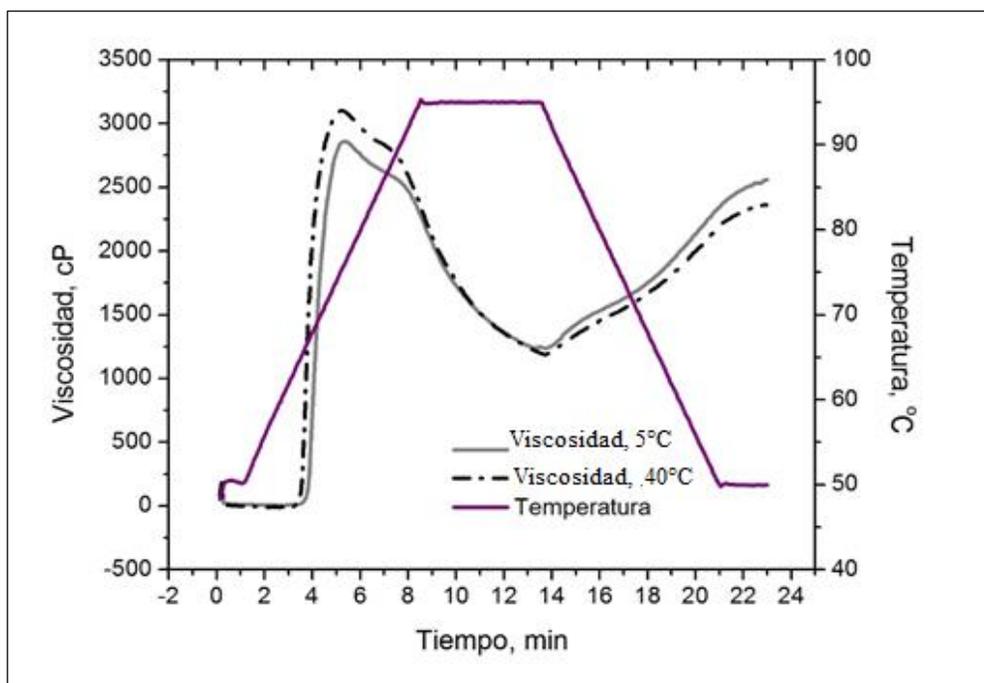


Figura 19. Análisis rápido de viscosidad (RVA) para los almidones de la semilla de Lúcumas seco a 5°C y 40 °C.

Tabla 19.

Datos obtenidos de los gráficos del (RVA) para los almidones de semilla de Lúcumo seco a 5 y 40 °C.

Tipos de Almidones	Pico de Viscosidad cP	Quiebre cP	Tendencia a la retrogradación cP	Viscosidad final cP	Retraso cP	Tiempo de pico min.	Temperatura de pasta °C
^{a1} Almidón de semilla de Lúcumo 5 °C	2862.5 ± 10.61	1226.5 ± 0.71	1636 ± 11.32	2559.5 ± 16.26	1333 ± 16.97	5.3 ± 0.04	65.7 ± 0.35
^{a1} Almidón de semilla de Lúcumo 40 °C	3102 ± 77.78	1188 ± 48.08	1914 ± 29.7	2364.5 ± 55.86	1176.5 ± 7.78	5.2 ± 0.05	64.2 ± 0.25
^{b1} Almidón de semilla de Araucaria trat.1	3011.6 ± 1.22	1171 ± 0.01	1840.6 ± 1.23	2530.4 ± 1.84	1354.4 ± 3.93	6.1 ± 0.07	68.1 ± 0.16
^{b2} Almidón de semilla de Araucaria trat.2	3382.5 ± 2.50	1199.6 ± 0.07	2182.9 ± 2.57	2703.2 ± 2.83	1507.3 ± 1.63	6.31 ± 0.06	66.2 ± 0.65
^{b3} Almidón de semilla de Araucaria trat.3	3177.9 ± 2.62	1073.1 ± 2.39	2104.8 ± 5.01	2107.17 ± 3.01	1033.0 ± 3.00	6.15 ± 0.06	65.6 ± 0.09
^{b4} Almidón de semilla de Araucaria trat.4	2743.5 ± 3.13	1199.8 ± 1.54	1543.7 ± 4.67	2692.5 ± 2.16	1487.4 ± 2.51	5.73 ± 0.06	62.2 ± 0.46
^{c1} Almidón Nativo de Taro	2141 ± 107.48	1025.5 ± 6.36	521 ± 2.83	1638 ± 106.0	613 ± 99.64	5.2 ± 0.05	78.6 ± 0.07
^{c2} Almidón Oxidado de Taro	3142 ± 62.23	1436 ± 14.14	2594 ± 59.91	4300 ± 25.46	2864 ± 11.32	5.0 ± 0.07	77.6 ± 0.50
^{c3} Almidón Succinilado de Taro	2033.5 ± 0.71	1161 ± 45.25	713.5 ± 7.78	1586 ± 38.18	425 ± 7.07	4.8 ± 0.09	76,8 ± 1.13

Nota: Los valores informados corresponden al promedio ± desviación estándar.

Fuente : ^{a1, a2}Presente trabajo; ^{b1, b2, b3, b4} Oliveira Gomes et al., (2013); ^{c1, c2, c3} Costa Almeida, (2012).

Las propiedades de formación de pasta del almidón son afectadas por los contenidos de amilosa, lípidos y por la distribución de la cadena de la amilopeptina. La amilopeptina constituye al hinchamiento del granulo del almidón, mientras que la amilosa y lípidos inhiben el hinchamiento (Tester & Morrison, 1990). Por lo cual el efecto de las características estructurales sobre las propiedades de la formación de la pasta es complejo. Los valores de la temperatura de formación de pasta de los almidones de la semilla de lúcuma, fueron obtenidos en el siguiente orden 5°C y 40°C.

Los valores de pico de viscosidad máxima (Peak Time) (5°C y 40°C) fue de 2862.5cP y 3102cP para los almidones de semilla de lúcuma; el incremento en la viscosidad se debe al hinchamiento de los gránulos del almidón al calentarse; los puentes de hidrogeno más débiles en el área amorfa se rompen y el granulo se hincha progresivamente a medida que se hidrata (Montoyal et al., 2012). Estos resultados son similares a los almidones de semilla de araucaria para los tratamiento 1, 2, 3,4 reportado por Oliveira Gomes et al., (2013). También, por Costa Almeida, (2012) para los almidones nativo de taro, oxidado de taro, sucinilado de taro.

La viscosidad mínima (Holding strength) fueron de 1226.5cP y 1188cP es la que llego el almidón de la semilla de lúcuma de (5°C y 40°C). Se registra el quiebre o caída de la viscosidad durante la fase del enfriamiento, relacionado a la liberación de agua por las moléculas de almidón, se presentó un incremento en la viscosidad durante la fase del calentamiento y fase de sostenimiento, produciendo una red que retiene una mayor cantidad de moléculas de agua (Gimeno et al., 2004). Son similares a los almidones de semillas de araucaria tratamiento 1, 2, 4 de 1171cP, 1199.6cP, 1199.8cP. También a los almidones sucinilado de Taro 1161cP.

Además, durante la fase de calentamiento, una disminución de la viscosidad fue encontrada para los dos tratamientos de almidón, debido a la tendencia a la retrogradación o rompimiento de algunos gránulos que es la diferencia de entre la viscosidad máxima y la viscosidad media. (Stevenson, 2003) encontraron una colección entre la viscosidad rompimiento (BreakDown) de los gránulos y la distribución de la longitud de las cadenas de la amilopeptina. Los resultados donde los valores fueron 1636cP y 1914cP estos resultados son similares a los

reportados por Oliveira Gomes et al., (2013) para los almidones semillas de araucaria del tratamiento 4 y 1 de 1543.7cP y 1840.6cP.

La retrogradación es evidente cuando contiene amilosa y los almidones son enfriados. Al enfriar hay menos energía disponible para mantener las moléculas de almidón solubilizadas separadas. La retrogradación da como resultado la formación de agregados cristalinos y una textura gelificada. Aunque la amilopectina puede retrogradarse con el enfriamiento, las moléculas de amilosa lineal tienen una mayor tendencia a re asociarse y formar enlaces de hidrogeno que la moléculas de amilopectina (Espinosa S. & Bello P., 2008). A medida que se produce el proceso de retrogradación, la pasta de almidón se vuelve cada vez más opaca y forma un gel cortable. Con el tiempo, este gel se vuelve gomoso y tiene tendencia a liberar agua. La liberación de agua se denomina sinéresis y se encuentra comúnmente en productos alimenticios tales como salsa y salsa que están formuladas con almidón que contiene amilosa no modificada (Thomas et al., 2001).

Los valores de viscosidad final (Final viscosity) que es 2559.5cP y 2364.5cP para los almidones de semilla de lúcuma de (5°C y 40°C); el almidón ya no genera más viscosidad. Son similares a los reportados por Oliveira Gomes et al., (2013) para los tratamientos 1 y 3 almidones semillas de araucaria que fueron de 2530.4cP y 2107.17cP a. La viscosidad final es el parámetro más utilizado para definir la calidad particular de un producto, dado que indica la capacidad del material para formar una pasta viscosa o gel después de la cocción y enfriamiento.

Los valores de viscosidad de recuperación, para los almidones de semilla de lúcuma (5°C y 40°C) fueron de 1333cP y 1176.5cP, almidones de semilla de araucaria que fueron de 1354.4cP, 1033.0cP, 1487.4cP, 1507.3cP. La re-asociación de los polímeros de almidón soluble y los fragmentos granulares insolubles durante la fase de enfriamiento, entre las moléculas de almidón durante el enfriamiento se conoce comúnmente como él (setback). Se trata de la retrogradación o reordenación de las moléculas de almidón, y se hace correlacionado con la textura de diversos productos, principalmente del sector alimenticio.

El viscoamilograma permite evaluar la temperatura de pasta y el tiempo de pico de gelatinización de los gránulos de almidón de las semillas de lúcuma (5°C y 40°C), en la cual se

observa un inicio de incremento de la viscosidad, cuyos valores son 65.7°C con 5.3minutos y 64.2°C con 5.2minutos, respectivamente, valores estos parecidos a los reportados en almidones de semilla de araucaria 65.6°C con 6.1minutos y 62.2°C con 5.7minutos (Oliveira Gomes da Costa et al., 2013). Al necesitarse temperatura más altas y por ende mayores tiempos para que se inicie el proceso de gelatinización de los almidones, mayor es el consumo de energía para que los gránulos de almidón se comiencen a hinchar (Quintero Castaño et al., 2013).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las propiedades físicas (dimensiones espaciales, tamaño, esfericidad y las propiedades gravimétricas) de las semillas de la lúcuma, donde las semillas resultaron con un diámetro mayor de 30.22mm y diámetros medio geométrico y aritmético son de 27.91 y 27.78mm con un área superficial de 2456.22mm^2 . También, las densidades real y aparente que son de 199.30 y 478.23kg/m^2 , son parámetros importantes para adecuar y operar maquinas, diseñar y construir estructuras de almacenamiento.

Rendimiento del almidón de las semillas de lúcuma para las dos formas de secado donde tuvo mayor rendimiento que fue a 5°C con 51.37% .

El análisis proximal del almidón de lúcuma donde el contenido de humedad para dos formas de secado (40°C y 5°C), fueron entre 6.26 a 14.82% ; en cuanto al contenido de proteínas para los mismos tratamientos de 0.68% a 0.74% ; cenizas, fueron de 0.20% a un 0.29% ; lípidos fue de 0.10 a 0.23% y el contenido de carbohidratos estuvo entre 98.97% a 99.16% , se mantienen en el rango de otras investigaciones realizadas, por ello el almidón de ambas serian adecuados.

Las propiedades morfológicas y térmicas del almidón de las semillas de la lúcuma en dos formas de secado; (forma y tamaño) de los gránulos de almidón de lúcuma se estudiaron con una técnica de microscopia electrónica de barrido SEM, donde los almidones mostraron una forma esférica o de domo y ovaladas y con longitudes de 7.57 y $6.59\mu\text{m}$ para las dos formas de secados (5°C y 40°C) que a menor tamaño del granulo de almidón la velocidad de hidrólisis aumenta pues se presenta una mayor área superficial, el difractograma de rayos X mostro un patrón de tipo C y con una capacidad de brillantes, por lo que estos almidones podrían utilizarse como posibles sustratos para la producción de diferentes compuestos de interés industrial, entre

ello, la dextrina, ciclodextrina de utilizan en la industria farmacéutica polvos faciales, polvos nutritivos, en la elaboración de cremas y lociones de uso dermatológico, también en pastas de fruta, rellenos para pasteles.

La calorimetría diferencial de barrido (DSC), donde el almidón de lúcuma presentó para los dos tratamientos (5°C y 40°C) donde inicia la temperatura de gelatinización a 57.60 y 56.31(T₀) donde comienza el proceso de transición de fase, particularmente las moléculas de la amilosa, comienzan a separarse del gránulos del almidón con un pico alto a una temperatura de 67.72 y 65.56°C (T_p) donde se registra los valores más altos de absorción de calor, y por último la temperatura final fueron de 74.57 y 73.02 (T_c), para los dos tratamientos (5°C y 40°C) a una variación de temperatura de 57-67 °C y 56-65°C aproximadamente (10°C y 9°C) el almidón ya se gelatiniza y la entalpia de gelatinización es de 8.18 y 16.99 ΔH_g (J g⁻¹) donde es la energía absorbida en el proceso. El almidón seco a 5°C requiere una baja cantidad de energía y calor para llegar a la gelatinización y los almidones secados a 40°C requieren de una mayor cantidad de energía y calor para llegar a gelatinizar.

Finalmente los resultados de las propiedades de la pasta (RVA), el pico de viscosidad alcanzado durante el crecimiento del almidón de la semilla de lúcuma fue de (temperatura de secado de 5°C) con 2862.5 cP, con un máximo de tiempo de pico de 5.3 min., además, (temperatura de secado de 40°C) con 3102 cP, con un máximo de tiempo de pico de 5.2 min fueron mayores, alcanzando el máximo pico de viscosidad. Presentó una disminución en la viscosidad debido a la ruptura y es la diferencia de entre la viscosidad máxima y el quiebre. La tendencia a la retrogradación fue de (temperatura de secado de 5°C) con 1636 cP y con un máximo de (temperatura de secado de 40°C) con 1914 cP liberando agua por las moléculas del almidón. La viscosidad final del almidón seco a 5°C fue mayor que el almidón seco a 40°C para las dos formas de secado, el cual indica que puede favorecer a la textura de productos que requieran viscosidad.

5.2. Recomendaciones

La investigación realizada permite hacer las siguientes recomendaciones, debido a que según el análisis realizado de los resultados aún hay aspectos que son necesarios investigar.

- ✓ Realizar espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (EITF) para corroborar los aspectos de absorbancia y transmitancia.
- ✓ Determinar la relación amilosa/amilopectina en el almidón de la semilla de lúcuma que imparten características definitivas en las propiedades funcionales.
- ✓ Hacer evaluaciones de la funcionalidad del almidón de la semilla de lúcuma para otras aplicaciones donde puede utilizarse esta materia prima tanto para la industria farmacéutica, alimentaria, como para otro tipo de industria.
- ✓ Para elevar el rendimiento de extracción de almidón de la semilla de lúcuma y tener valores más competitivos se puede reemplazar las operaciones manuales realizadas en la extracción por un proceso industrial, que puede incluir los equipos especializados que se utilizan en proceso automatizados a gran escala.
- ✓ Se recomienda evaluar la factibilidad económica del almidón de lúcuma,

REFERENCIAS

- Abdellaoui, M., Alaoui, A., & Rhaffari, L. (2016). Propriétés physiques des graines du cumin (*Cuminum cyminum*) dans la réserve de biosphère des oasis du Maroc. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 15(2), 412–419. Retrieved from <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- Acosta Osorio, A. A. (2013). *Estudio de viscosidad aparente en sistemas de simples y multifasicos de baja densidad en funcion de la temperatura, mediante el uso de un visco-analizador*. Universidad Autónoma de Querétaro Facultad de Ingenieria. Retrieved from <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/1060/1/RI000272.pdf>
- AGRARIO. (2014). Compendio Estadístico.
- Alarcón M, F., & Dufour, D. (2001). Almidón Agrío de Yuca en Colombia. In *La Yuca del tercer milenio* (pp. 470–502). Colombia: 2001.
- AlegreCaballero, M. G., & Ticse Aguila, A. M. del C. (2017). “*Caracterización de macrocomponentes en pulpa congelada de tres biotipos de Lúcumo (Pouteria lucuma)*.” Universidad San Ignacio de Loyola.
- Alvani, K., Qi, X., Tester, R. F., & Snape, C. E. (2011). Physico-chemical properties of potato starches. *Food Chemistry*, 125(3), 958–965. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2010.09.088>
- Alvis, A., Vélez, C. A., Villada, H. S., & Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Informacion Tecnologica*, 19(1), 19–28. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642008000100004>
- Araujo, W. D., Goneli, A. L. D., Souza, C. M. A. De, Gonçalves, A. A., & Vilhasanti, H. C. B. (2014). Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 18(3), 279–286.
- Arce Amado, E. E. (2012). *Efectos de los fitorreguladores ácido indolbutírico y ácido naftalenacético en la injertación de semillagerminada de lúcumo (Lucuma obovata HBK) Bajo condiciones de cama caliente-fundo “la banda” Huasacache-Arequipa*. Universidad Católica de Santa Maria.

- Arias, D. F., Pérez, D., & González, J. M. (2015). Una revisión del estado del arte de la medida de la nanodureza usando el Microscopio de Fuerza Atómica. *Entre Ciencia E Ingeniería*, (18), 67–74. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v9n18/v9n18a09.pdf>
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. FAO (Vol. 163). <https://doi.org/9253056770-9789253056774>
- Arroyo-Pieck, A., & Peón, J. (2015). Premio Nobel de Química 2014 Microscopía de fluorescencia con super-resolución. *Educacion Quimica*, 26(1), 50–51. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(15\)72098-7](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(15)72098-7)
- Aviara, N. A., Ibrahim, E. B., & Onuoha, L. N. (2014). Physical properties of Brachystegia Eurycoma seeds as affected by moisture content. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 7(1), 84–93. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20140701.010>
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos*. (E. Quintanar Duarte, Ed.), *Química de los alimentos*. Mexico. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Barreto, S. A., Rojas de Gascue, B., Prin, J. L., Pérez, E., & Ortiz, S. (2012). Necesidad de sustitución de las fuentes tradicionales de almidón: Avances en los estudios de gránulos de almidón obtenidos de ocumo chino (*Colocasia Esculenta* L schott) y de sus mezclas con canavalia (*Canavalia Ensiformis*). *Rev. LatinAm. Metal. Mat.*, pp. 36–38.
- Bello-Perez, L. A., García-Suárez, F. J. L., & Flores-Huicochea, E. (2006). Aislamiento de almidón de plátano : Escala de plantas piloto e industrial. In *Carbohidratos en alimentos regionale iberoamericanos* (pp. 459–486). México. Retrieved from <file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Capitulo19.pdf>
- Bello-Pérez, L. A., & Paredes-López, O. (2009). Starches of some food crops, changes during processing and their nutraceutical potential. *Food Engineering Reviews*, 1(1), 50–65. <https://doi.org/10.1007/s12393-009-9004-6>
- Bertolini, A. . (2010). *Starches Characterization, Properties, and Applications*. CRC Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Biliaderis, C. G., & Zawistowski, J. (1990). Viscoelastic behavior of aging starch gels : effects of concentration, temperature, and starch hydrolysates on network properties. *Cereal Chemistry*, 67, 240–246. Retrieved from

- <http://www.aaccnet.org/publications/cc/backissues/1990/Documents/CC1990a51.html>
- Borbor Ponce, M. M. (2017). “*Variación morfológica y molecular de la lúcuma (Pouteria lucuma [R et. Pav] O. Kze) y su contribución al manejo sustentable de los huertos de Yaután y Laredo.*” Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Borén, M., Larsson, H., Falk, A., & Jansson, C. (2004). The barley starch granule proteome—internalized granule polypeptides of the mature endosperm. *Plant Science*, *166*(3), 617–626. <https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2003.10.028>
- Cabalkova, J., Pribyl, J., Skladal, P., Kulich, P., & Chmelik, J. (2008). Size, shape and surface morphology of starch granules from Norway spruce needles revealed by transmission electron microscopy and atomic force microscopy: effects of elevated CO₂ concentration. *Tree Physiology*, *28*(10), 1593–1599. <https://doi.org/10.1093/treephys/28.10.1593>
- Casarrubias Castillo, M. G., Méndez Montealvo, G., Rodríguez Ambriz, S. L., Sánchez Rivera, M. M., & Bello Pérez, L. A. (2012). Diferencias estructurales y reológicas entre almidones de frutas y cereales. *Agrociencia*, *46*(5), 455–466. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n5/v46n5a3.pdf>
- Chmelik, B. J., Krumlova, A., & Budinska, M. (2001). Comparison of Size Characterization of Barley Starch Granules Determined by Electron and Optical Microscopy , Low Angle Laser Light Scattering and Gravitational Field-Flow Fractionation, *107*(1), 11–17.
- Chung, H. J., Li, X. Q., Kalinga, D., Lim, S. T., Yada, R., & Liu, Q. (2014). Physicochemical properties of dry matter and isolated starch from potatoes grown in different locations in Canada. *Food Research International*, *57*, 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.034>
- Chung, H. J., Liu, Q., & Hoover, R. (2009). Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydrate Polymers*, *75*(3), 436–447. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.08.006>
- Cobana, M., & Antezana, R. (2007). Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca. *Revista Boliviana de Química*.
- Cobana, M., & Antezana, R. (2008). Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca.

- Revista Boliviana de Química*, 24(1), 77–83. Retrieved from <http://www.scielo.org.bo/pdf/rbq/v24n1/v24n1a14.pdf>
- CODEX STAN 276. (2011). Norma del Codex para el Camembert. *Codex Alimentarius - Leche Y Productos Lácteos*, 177–181.
- CODEX STAN 305R. (2011). Norma Regional para la Lúcumá.
- Costa Almeida, E. (2012). *Amido modificado de Taro (Colocasia esculenta L. Schott): Propiedades Funcionais*. Universidad Federal da Paraíba.
- Dabirian, R., Wang, W. M., Matovelle, D. L., & Hwu, E. Te. (2015). Sistema de microscopía de fuerza atómica basada en una unidad de lectura óptica digital y un escáner-zumbador. *Revista Mexicana de Física*, 61(4), 238–244. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmf/v61n4/v61n4a10.pdf>
- Dávila, F. (2014). Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco (*Musa paradisiaca*). *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2), 23–28.
- Dávila Rivera, A. (2000). *Obtención y caracterización del almidón de papa Aérea (Dioscorea bulbifera L.) “Ñame Congo.”* Universidad Nacional de San Martín.
- Del Castillo Málaga, A. R. (2006). *Estudio técnico de la producción de la harina de Lúcumá en la sierra de Piura*. Universidad de Piura.
- dos Santos, T. P. R., Leonel, M., Garcia, É. L., do Carmo, E. L., & Franco, C. M. L. (2016). Crystallinity, thermal and pasting properties of starches from different potato cultivars grown in Brazil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.091>
- Dursun, I., Tugrul, K. M., & Dursun, E. (2007). Some Physical Properties of Sugarbeet Seeds. *Journal of Stored Products Research*, 43(2), 149–155. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3408.7447>
- Eliasson, A. C. (1994). Interactions between starch and lipids studied by DSC. *Thermochimica Acta*, 246(2), 343–356. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(94\)80101-0](https://doi.org/10.1016/0040-6031(94)80101-0)
- Espinosa S., V., & Bello P., L. A. (2008). *Estudios Estructurales de Almidón de Fuentes No Convencionales: Mango (Mangifera indica L.) Y Plátano (Musa paradisiaca L.)*. Retrieved from <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3598/estudiosestructurales.pdf?sequence=1>

- Espinoza, R. (2012). *Relación entre el contenido de fósforo y algunas propiedades térmicas y reológicas en almidón de papa nativa de Chiloé*. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Ingeniería en Alimentos. Retrieved from <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/fae.77r/doc/fae.77r.pdf>
- Fazaeli, M., Tahmasebi, M., & Djomeh, Z. E. (2012). Characterization of Food Texture : Application of Microscopic Technology. *Current Microscopy Contributions to Advances in Science and Technology*, 855–871.
- García A., O. R., Pinzón F., M. I., & Sánchez A., L. T. (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.
- Gimeno, E., Moraru, C. I., & Kokini, J. L. (2004). Effect of Xanthan Gum and CMC on the Structure and Texture of Corn Flour Pellets Expanded by Microwave Heating. *Cereal Chemistry*, 81(1), 100–107. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.1.100>
- Gomez, H. C. y otros. (2006). *Química de los alimentos cuarta Edición. Química de los Alimentos Cuarta Edición* (Vol. Cuarta Edi).
- Guerrero, M. E., García Perez, J. V., & Cárcel, J. A. (2009). Secado de bacalao desalado a baja temperatura y efecto de los ultrasonidos en el secado, la rehidratación, el color y la textura, 1–20.
- Guízar Miranda, A. (2009). *Obtención y caracterización física y química del almidón de “camote de cerro” (Dioscorea spp.)*. Instituto Politécnico Nacional.
- Hermoza Gamboa, J. N. (2017). “*Diseño de un sistema de ventilación para deshumidificar 4TN de maíz en el centro poblado de Tocas-Huancavelica.*” Universidad Nacional del centro del Perú.
- Hoover, R., & Ratnayake, W. S. (2002). Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. *Food Chemistry*, 78(4), 489–498. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00163-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00163-2)
- Janampa Huaytalla, C. S. (2017). “*Determinacion de metabolitos primarios, actividades enzimaticas y características físico-químicas de la lucuma (Pouteria lucuma) en dos estados fisiológicos.*” Universidad Nacional Agraria la Molina.

- Jane Grace, M. L. (2017). *Propiedades fisicoquímicas y térmicas de almidón extraído de papa nativa (Solanum tuberosum L.) Variedades “Águila” y “Shuita” cultivadas en el Distrito de Chugay, Provincia de Sanchez Carrión, Departamento de La Libertad*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Jiménez Ramos, E., & Martínez de la Cruz, S. (2016). “*Obtención y caracterización física y química del almidón de yuca (Manihot esculentum) variedad guayape.*” Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Jobling, S. (2004). Improving starch for food and industrial applications. *Current Opinion in Plant Biology*, 7(2), 210–218. <https://doi.org/10.1016/J.PBI.2003.12.001>
- Kang, K. W., Echarri, J. M., & Llorente, C. L. (2013). Servicio de microscopía electrónica de barrido y microanálisis del limf, 660–665.
- Koocheki, a, Razavi, S. M. a, Milani, E., Moghadam, T. M., Abedini, M., Alamatian, S., & Izadkhah, S. (2007). Physical properties of watermelon seed as a function of moisture content and variety. *International Agrophysics*, 21, 349–359. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/3734a0c6d73ac129bc6c56b92494834d830c67eb.pdf>
- Lawal, O. S., Ogundiran, O. O., Awokoya, K., & Ogunkunle, A. O. (2008). The low-substituted propylene oxide etherified plantain (*Musa paradisiaca normalis*) starch: Characterization and functional parameters. *Carbohydrate Polymers*, 74(3), 717–724. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2008.04.039>
- Liu, H., Ramsden, L., & Corke, H. (1999). *Physical properties of cross-linked and acetylated normal and waxy rice starch*. *Starch - Staerke (Germany)*. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DE1999S10336#.Wm3kdO7ki-w.mendeley>
- López, O. V. (2011). *Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón*. Universidad Nacional de la Plata.
- Lucas, J. C., Quintero, V. D., & Valencia Cárdenas, C. A. (2013). Caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de plátano guineo AAAea (*Musa sapientum L.*). *Acta Agronomica*, 62(2), 83–96.
- Luengwilai, K., & Beckles, D. M. (2009). Starch granules in tomato fruit show a complex

- pattern of degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(18), 8480–8487.
<https://doi.org/10.1021/jf901593m>
- Maldonado Alata, E. R. (2006). Obtencion de lucuma (pouteria obovata) en polvo por atomizacion.
- Mangalika Wickramasinghe, H. A., & Noda, T. (2008). Physicochemical properties of starches from sri lankan rice varieties. *Food Science and Technology Research*, 14(1), 49–54.
<https://doi.org/10.3136/fstr.14.49>
- Manni, D., & Santiago, L. (2008). Desarrollo de biomateriales a partir de almidon de amaranto modificado. *2do Encuentro de Jovenes Investigadores En Ciencias Y Tecnologia de Materiales - Posadas -Misiones*. Retrieved from <http://doczz.es/doc/142201/manni-d>.
- Manrique Quevedo, N., González Soto, R. A., Othman Abu, H., García Suárez, F. J., & Bello Pérez, L. A. (2007). Caracterización de mezclas de almidones de mango y plátano pregelatinizados mediante diferentes condiciones de extrusión. *Agrociencia*, 41(October 2015), 637–645.
- Medina, J. A., & Salas, J. C. (2008). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de Ingeniería*, 27, 56–62. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n27/n27a7.pdf>
- Méndez, J. P., Hinojosa, C. U. R., Gutiérrez, A. D. R., Marzo, M. a M., González, C. a, & Prieto, F. (2009). Degradación física del almidón de cebada (*Hordeum sativun* Jess). Correlación entre la gelatinización y el tamaño de gránulos Degradation of Barley Starch (*Hordeum sativun* Jess). Correlation Between the Gelatinisation and the Size of Grains. *Multiciencias*, 9(5), 115–125. Retrieved from https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_ImpTecTox/fco_prieto/mult.pdf
- MINAGRI, S. (2015). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y Ganadera (Noviembre, p. 302).
- Miñón Hernández, L. N. D. (2011). “*Características físicas y químicas del almidón nativo y nanoestructurado de maíz azul y sus propiedades biologicas en diabetes inducida en ratas Wistar.*” Universidad Veracruzana.
- Mirzabe, A. H., Khazaei, J., & Chegini, G. R. (2012). Physical properties and modeling for

- sunflower seeds. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(3), 190–202.
- Mishra, S., & Rai, T. (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids*, 20(5), 557–566.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2005.01.001>
- Montoyal L., J., Giraldo G., G. A., & Lucas A., J. (2012). Caracterización física de la harina de trigo y pan mediante ñla determinación de la viscosidad y la cristalinidad de la pasta. *Vitae*, 19, 346–348. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914108>
- Mostacero León, J., Mejía Coico, F., Gastañadui Rosas, D., & De la Cruz Castillo, J. (2017). Inventario taxonómico , fitogeográfico y etnobotánico de frutales nativos del norte del Perú. *Scientia Agropecuaria*, 8(3), 215–224.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.04>
- Oliveira Gomes da Costa, F. J., Lopes Leivas, C., Waszczyński, N., Bueno De Godoi, R. C., Vieira Helm, C., André, T., ... Schnitzler, E. (2013). Characterisation of native starches of seeds of *Araucaria angustifolia* from four germplasm collections. *Thermochimica Acta*, 565, 172–177. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2013.04.030>
- Ordoñez, M. R., Gely, M. C., & Pagano, A. M. (2012). Estudio de las propiedades físicas y de la cinética de secado de granos de maíz colorado duro. *Avances En Ciencias E Ingeniería*, 3(3), 153–171.
- Palacio Rodríguez, J. A., & Peñata Mendoza, Y. (2012). *Aumento del Rendimiento en la Extracción del Almidón a partir del Grano de Maíz y la Influencia del Carbonato de Ácido Sódico en las Propiedades Físico-Químicas del Slurry*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD. Retrieved from <http://repository.unad.edu.co:8080/bitstream/10596/1668/1/72286651.pdf>
- Palate Amaguaña, J. E., & Manjarrez, M. (2013). “*Estudio del efecto de la temperatura y el tiempo en las características físico-químicas y sensoriales de la oca (Oxalis tuberosa) DURANTE SU MADURACIÓN.*” Universidad técnica de Ambato.
- Pardo C., O. H., Castañeda, J. C., & Ortiz, C. armando. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Acta Agronomica*, 62(4), 289–295.

- Paredes-López, O., Bello-Pérez, L. A., & López, M. G. (1994). Amylopectin: Structural, gelatinisation and retrogradation studies. *Food Chemistry*, 50(4), 411–417. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)90215-1](https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)90215-1)
- Peña Carrasco, E. F. (2017). *Extracción Y Caracterización Físicoq Uímica Y Funcional De Almidones De Cinco Variedades De Papas Nativas Procedentes De Ilave (Puno)*. Universidad Nacional Agraria la Molina. Retrieved from <https://www.mendeley.com/viewer/?fileId=4e0ca5e8-88cb-18bd-4fef-86ec6f79fe16&documentId=4e5a548f-ad99-3348-81c7-a5ecd8694ddd>
- Pérez-Sira, E. (1997). Characterization of Starch Isolated from Plantain (*Musa paradisiaca normalis*). *Starch - Stärke*, 49(2), 45–49. <https://doi.org/10.1002/star.19970490202>
- Perez., M. G., & A., M. M. S. L. R. A. M. M. S. R. L. (2012). Diferencias estructurales y reológicas entre almidones de frutas y cereales. *Artículo En Agrociencia*, (46), 455–466.
- Pérez Pacheco, E., Moo Huchin, V. M., Estrada León, R. J., Ortiz Fernández, A., May Hernández, L. H., Ríos Soberanis, C. R., & Betancur Ancona, D. (2014). Isolation and characterization of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swartz Seeds. *Carbohydrate Polymers*, 101(1), 920–927. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.012>
- Pineda Gómez, P., F., C. D., Arciniegas Álvarez, M., Rorales Rivera, A., & Rodríguez García, M. E. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería Y Ciencia*, (11), 129–141. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v6n11/v6n11a08.pdf>
- Prieto, Méndez, J., Rubio Hinojosa, C. U., Román Gutiérrez, A. D., Méndez Marzo, M. A., González Ramirez, C. A., & Prieto Garcia, F. (2009). Degradación física del almidón de cebada (*Hordeum sativum* Jess). Correlación entre la gelatinización y el tamaño de gránulos. *Multiciencias*, 9(5), 115–125.
- Pumacahua-Ramos, A., Demiate, I. M., Schnitzler, E., Bedin, A. C., Telis-Romero, J., & Lopes-Filho, J. F. (2015). Morphological, thermal and physicochemical characteristics of small granules starch from *Mirabilis jalapa* L. *Thermochimica Acta*, 602, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2015.01.001>
- Pumacahua Ramos, A. (2014). *Extração e caracterização de amido de quinoa, cañihua e*

Mirabilis jalapa. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” Câmpus de São José do Rio Preto.

- Quintero Castaño, V. D., Lucas Aguirre, J. C., & Álzate Carvajal, E. N. (2013). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto Determination of Thermal Properties and Compositional Flour and Starch Chachafruto (*Erytrina Edulis Triana ex Micheli*). *Ingenium Revista de La Facultad de Ingenieria*, (28), 16–32.
- Quinto, D. A., Solano, M. Q., & Silva, C. E. (2015). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) negra collana, pasankalla roja y blanca junín. *Soc Quim Perú*, 81(1), 44–54.
- Ramírez-Miranda, M., Silva-González, Z., Calderón-Domínguez, G., & Salgado-Cruz, M. (2016). Caracterización micro estructura de almidón proveniente de jícama (*Pachyrhizus erosus*). *Investigación Y Desarrollo En Ciencia Y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 412–416.
- Razavi, S. M. A., Rafe, A., Moghaddam, T. M., & Amini, A. M. (2007). Physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety . Part II . Gravimetric properties. *Journal of Food Engineering*, 81, 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.024>
- Reyes Javier, P. (2007). *Universidad nacional agraria la molina*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Ribeiro, D. M., Corrêa, P. C., Rodrigues, D. H., & Goneli, A. L. D. (2005). Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem 1. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, 25(3), 611–617.
- Ríos-Ríos, K. L. (2014). Análisis comparativo de las propiedades Fisico-químicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*Colocasia antiquorum* y *Colocasia esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca.
- Rivas González, M. (2006). Caracterización fisicoquímica y molecular del almidón de plátano (*Musa Paradisiaca* L. var. Macho) modificado por métodos químicos.
- Robles Oñate, M. del P. (2012). Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas y térmicas

- de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé. Universidad Austral de Chile.
- Rodríguez- M, M. L., Bello-Pérez, L. A., & Núñez-Santiago, M. C. (2009). Efecto de tres agentes entrecruzantes sobre las propiedades fisicoquímicas y características morfológicas del almidón de plátano, 74.
- Rodríguez Torres, D. (2015). *Potencial agroalimentario del almidón de arroz de tres variedades cultivadas en el departamento del tolima*. Universidad del Tolima.
- Sánchez De la Concha, B., Pacheco Vargas, G., & Agama Acevedo, E. (2016). Producción de nanocritales de almidón de plátano por hidrólisis ácida: Caracterización parcial. *Investigación Y Desarrollo En Ciencias Y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 565–570.
- Sandhu, K. S., Singh, N., & Kaur, M. (2004). Characteristics of the different corn types and their grain fractions: Physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches. *Journal of Food Engineering*, 64(1), 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.09.023>
- Sandoval Aldana, A., Rodríguez Sandoval, E., & Fernández Quintero, A. (2005). Aplicación del Análisis por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón, 72, 45–53. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v72n146/a04v72n146.pdf>
- Singh, J., & Kaur, L. (2009). *Advances in potato chemistry and technology*. Academic Press.
- Singh, J., McCarthy, O. J., Singh, H., Moughan, P. J., & Kaur, L. (2007). Morphological, thermal and rheological characterization of starch isolated from New Zealand Kamo Kamo (Cucurbita pepo) fruit - A novel source. *Carbohydrate Polymers*, 67(2), 233–244. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.05.021>
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S., & Gill, B. S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81(2), 219–231. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)
- Spence, K. ., & Jane, J. (1999). Chemical and physical properties of ginkgo (Ginkgo biloba) starch. *Carbohydrate Polymers*, 40(4), 261–269. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(99\)00059-4](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(99)00059-4)

- Srichuwong, S., Sunarti, T. C., Mishima, T., Isono, N., & Hisamatsu, M. (2005). Starches from different botanical sources II: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. *Carbohydrate Polymers*, 62(1), 25–34.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.07.003>
- Stevenson, D. G. (2003). *Role of starch structure in texture of winter squash (Cucurbita maxima D) fruit and starch functional properties by*. *Food Science and Technology*. Iowa State University.
- Subiabre Melian, D. E. (2010). *Ensayo Comparativo de Dos Metodologías de Extracción de Almidón de Papa usando Muestras de Diez Variedades Nativas de Chiloé y dos Variedades Comerciales*. Universidad Austral de Chile.
- Surco Laos, F. A., & Cordova Rivera, A. (2004). *Caracterización de almidones aislados de tuberculos andinos : mashua (Tropaeolum tuberosum), Oca (oxalis tuberosa), Olluco (ullucus tuberosus) para su aplicación tecnologica*. Universidad nacional mayor de san marcos. Retrieved from <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/2588>
- Tester, R. F., & Debon, S. J. . (2000). Annealing of starch — a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 27(1), 1–12. [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(99\)00121-X](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(99)00121-X)
- Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch—composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39(2), 151–165. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>
- Tester, R. F., & Morrison, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chemistry*, 67(6), 551–557.
- Thomas, D. J., Atwell, W. A., Press, E., & Paul, S. (2001). Book Reviews. *Carbohydrate Polymers*, 45, 305–307.
- Tovar Benitez, T. (2008). “ Caracterización Morfológica y termica del almidon de Maíz(Zea mays L) obtenido por diferentes metodos de aislamiento.” Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo.
- Vaclavik, V. A. (2010). *Ciencia y Tecnología de los Alimentos* (Acribia, S). Roy, Zaragoza (España). Retrieved from http://www.editorialacribia.com/0_Resources/Ciencia_Tecnologia_Alimentos.pdf

- Valiente Montes, K. E., & Pazos Cribillero, Y. A. (2014). “*Estudio comparativo de la calidad de la harina de lúcuma (Pouteria lucuma) deshidratada mediante liofilización y aire caliente.*” Universidad nacional del santa.
- Vasanthan, T., & Hoover, R. (1992). A comparative study of the composition of lipids associated with starch granules from various botanical sources. *Food Chemistry*, 43(1), 19–27. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(92\)90236-U](https://doi.org/10.1016/0308-8146(92)90236-U)
- Wang, Y.-J., & Wang, L. (2003). Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*, 52(3), 207–217. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)003041](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)003041)
- Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., & Delcour, J. A. (2014). Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch/Staerke*, 67(1–2), 14–29. <https://doi.org/10.1002/star.201300238>
- Zárate-Polanco¹, L. M., Ramírez-Suárez¹, L. M., Otálora Santamaría, N. A., Garnica-Holguín, A. M., Prieto, L., Cerón-Lasso, M. S., & Argüelles, J. H. (2014). Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, Grupo Phureja). *Revista Latinoamericana de La Papa*, 18(1), 1–24. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Zobel, H. F. (1988). Starch Crystal Transformations and Their Industrial Importance. *Starch - Stärke*, 40(1), 7. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/toc/1521379x/1988/40/1>

ANEXOS

Anexo A. Método de determinación de humedad

AOAC Official Method 925.10 Solids (Total) and Moisture in Flour Air Oven Method Final Action

[Results closely approximate those obtained by **925.09B** (*see* 32.1.02)].

In cooled and weighed dish (provided with cover), **925.09A(a)** (*see* 32.1.02), previously heated to $130 \pm 3^\circ$, accurately weigh ca 2 g well-mixed sample. Uncover sample, and dry dish, cover, and contents 1 h in oven provided with opening for ventilation and maintained at $130 \pm 3^\circ$. (1 h drying period begins when oven temperature is actually 130° .) Cover dish while still in oven, transfer to desiccator, and weigh soon after reaching room temperature. Report flour residue as total solids and loss in weight as moisture (indirect method).

References: JAOAC **8**, 665(1925); **9**, 40(1926).

Anexo B. Método de determinación de ceniza

AOAC Official Method 923.03

Ash of Flour

Direct Method

Final Action

Weigh 3–5 g well-mixed sample into shallow, relatively broad ashing dish that has been ignited, cooled in desiccator, and weighed soon after reaching room temperature. Ignite in furnace at ca 550° (dull red) until light gray ash results, or to constant weight. Cool in desiccator and weigh soon after reaching room temperature. Reignited CaO is satisfactory drying agent for desiccator.

Reference: JAOAC 7, 132(1923).

Anexo C. Norma técnica peruana 205.005. Determinación proteínas totales (método de Kjeldahl).

I. Principio del método:

El contenido de proteínas totales se calcula en función del contenido de nitrógeno en las sustancias, determinando según el método de Kjeldahl. Este, método consiste en convertir el nitrógeno, en sulfato de amonio, ingiriendo con ácido sulfúrico concentrado, en presencia de un catalizador. El sulfato de amonio formado, se libera en medio alcalino por adición de hidróxido de sodio en exceso, liberándose el amonio, en el que se recibe en una solución valorada de ácido sulfúrico o clorhídrico, el contenido de nitrógeno se determina valorando el exceso de ácido, con solución de hidróxido de sodio o potasio.

II. Materiales:

- Balanza analítica
- Equipo de Kjeldahl
- Molino de laboratorio que permita obtener un producto que se pase por el tamiz ITINTEC 0.841 mm (N°20)

III. Reactivos:

- Ácido sulfúrico ($d=1,84$), exento de nitrógeno
- Mezcla catalizadora: mezcla íntimamente e mortero, 10g de sulfato de sodio o de potasio y 0.5g de sulfato de cobre (proporción 20 a 1).
- Agentes activados: gránulos de zinc, piedra pómez, perlas de vidrio o similares.
- Soluciones indicadoras de rojo de metilo: se disuelve 1g de rojo de metilo en 200cm³ de alcohol etílico de 95%.
- Solución de 0.1N de ácido clorhídrico o sulfúrico, la normalidad de esta solución debe controlarse periódicamente.
- Solución 0.1N de hidróxido de sodio o de potasio: la normalidad de esta solución debe controlarse periódicamente.
- Solución de hidróxido de sodio.

IV. Materiales:

- Erlenmeyer de 300 cm³
- Dos buretas de 50 cm³ cada una, graduada a 0.1 cm³
- Dos probetas de 50 cm³ cada una, graduada a 0.1 cm³

V. Procedimiento:

- a) Se determina la masa de 10 gramos de la muestra, con precisión de 0,1mg y se coloca en balón de Kjeldahl.
- b) Se agrega 10 gramos de la mezcla catalizadora y 30 cm³ de ácido sulfúrico concentrado.

- c) Se coloca el balón en posición inclinada y se calienta suavemente hasta la desaparición de la espuma.
- d) Se lleva la mezcla a ebullición vigorosa, hasta que la solución quede limpia y se mantiene en calentamiento durante 30min.
- e) Se enfría el aire, se agregan 200 cm³ de agua y se refleja la exteriormente hasta temperatura ambiente.
- f) Se agrega cualesquiera de los agente activos mencionados y se añade 70 cm³ de solución de hidróxido de sodio, teniendo cuidado de hacerla rebasar por las paredes del balón.
- g) Inmediatamente se coloca el balón con el refrigerante y la trampa. Se rota el balón para mezclar el contenido y se sumerge en el piso del refrigerante en un Erlenmeyer, conteniendo un exceso conocido de solución de ácido sulfúrico o clorhídrico 0.1N.
- h) Se calienta hasta que se haya destinado todo el amoniaco (150 cm³de destilado, por lo menos).
- i) Se valora el exceso de la solución de ácido, con la solución alcalina valorada de hidróxido de sodio de potasio, usando dos gotas de rojo de metilo como indicador, se corrige el resultado efectuando un ensayo en blanco con los reactivos.
- j) Se determina el contenido de humedad de la muestra, por el método usando de la norma correspondiente.

VI. Expresión de resultado:

El contenido de proteínas totales, se expresa en por ciento de la masa de la muestra y se calcula mediante la siguiente formula:

$$P = \frac{0.004 * (V_b f_b - V_a f_a) * F * 10000}{M * (100 - H)}$$

Donde:

P: Contenido de proteínas por 100g de la muestra seca.

V_b: Volumen de la solución de ácido sulfúrico 0.1N en cm³.

F_b: Factor de solución de ácido.

V_a: Volumen de la solución de zinc 0.1N en centímetro cúbicos.

F_a: Factor de sorción alcalina.

M: Masa de la muestra en gramos.

H: contenido de humedad de la muestra en porciento en masa, determinando según la norma correspondiente.

F: Factor de conversión de porcentaje de nitrógeno a porcentaje de proteínas, cuyos valores es 5.70 para trigo y 6.25 para el maíz y la mayoría de cereales.

Nota: el contenido de proteína a indicarse, debe ser promedio aritmético de por las dos determinaciones analíticas.

Anexo D. Norma técnica peruana 205.006: determinación de materia grasa

I. Principios del método

Se extrae la grasa mediante la cocción de un solvente, se evapora este y se determina la masa del extracto seco resultante.

II. Aparatos.

- Extractor de Soxhlet.
- Estufa con termostato regulado a 100°C±2°C.
- Balanza analítica.
- Tamiz.
- Molino de laboratorio que permita obtener un producto que pase por el tamiz.
- Desecador con deshidratante adecuado.

III. Reactivos:

Éter etílico o éter de petróleo, químicamente pura, de rango de destilación de 35°C a 60°C y residuo seco no mayor de 0.003g/100cm³.

IV. Materiales:

- Papel filtro Wathman N° 2 o similar.
- Dedal de extracción adecuado o preparado con papel filtro wathman N° 2 o similar.

V. Procedimiento:

- a) Se determina exactamente la masa de 10g de la muestra seca y molida, se coloca en el dedal de extracción de grasa o se utiliza el papel Wathman N° 2.
- b) Se coloca el dedal que contiene la muestra, en el aparato de Soxhlet alrededor de 16 horas, usando como disolvente el éter etílico o éter de petróleo.
- c) Se seca el extracto a 100°C durante 30min, se enfría en desecador y se determina la masa.
- d) Se repite la operación hasta masa constante.

VI. Expresión de resultados:

El contenido de la materia grasa se expresa en porcentaje de masa seca de la muestra, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$M_g = \frac{100 (M_1 + M)}{M_2} \times \frac{100}{100 - H}$$

Donde:

Mg: Contenido de materia grasa, en gramos.

M: Masa del recipiente, en gramos.

M₁: Masa del recipiente con la materia grasa, en gramos.

M₂: Masa de muestra, en gramos.

H: Contenido de humedad porcentual de la muestra.

Nota: el contenido de grasa a indicar, debe ser el promedio aritmético de por lo menos 2 determinaciones analíticas. El tiempo de extracción podrá variar de 4h a 16h, dependiendo de las velocidades de goteo durante la extracción.

Anexo E. Dimensiones axiales de las semillas de lúcumo

	Diámetro mayor (mm)	Diámetro medio (mm)	Diámetro menor (mm)	Medio aritmético (mm)	Medio geométrico (mm)	Área superficial específica (mm²)	Esfericidad
1	29.7	28.05	24.94	27.563	27.491	2374.326	0.926
2	29.87	27.14	24.04	27.017	26.911	2275.113	0.901
3	29.94	28.42	24.87	27.743	27.660	2403.538	0.924
4	32.41	30.77	26.34	29.840	29.726	2776.076	0.917
5	26.83	25.79	23.72	25.447	25.413	2028.964	0.947
6	23.13	22.32	13.38	19.610	19.045	1139.464	0.823
7	28.55	27.24	24.89	26.893	26.850	2264.863	0.940
8	31.67	30.63	26.01	29.437	29.330	2702.548	0.926
9	33.06	32.35	27.59	31.000	30.901	2999.870	0.935
10	37.19	33.07	28.1	32.787	32.573	3333.197	0.876
11	26.64	26.71	22.08	25.143	25.046	1970.704	0.940
12	29.91	29.37	24.3	27.860	27.740	2417.506	0.927
13	33.28	32.99	27.44	31.237	31.116	3041.700	0.935
14	30.92	29.37	27.12	29.137	29.095	2659.328	0.941
Prom	30.221	28.873	24.630	27.908	27.778	2456.228	0.918
Min	23.130	22.320	13.380	19.610	19.045	1139.464	0.823
Max	37.190	33.070	28.100	32.787	32.573	3333.197	0.947
Desvia	3.412	3.007	3.662	3.241	3.315	543.789	0.033
Mediana	29.925	28.895	24.915	27.802	27.700	2410.522	0.927
Varianza	11.641	9.039	13.408	10.504	10.989	295706.825	0.001

Anexo F. Densidad real de la semilla de lúcumá

N°	Masa (g)	Volumen(ml)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (Kg/m ³)
1	14.175	66	0.215	214.773
2	17.1525	58	0.296	295.733
3	9.4985	55	0.173	172.700
4	8.0589	54	0.149	149.239
5	10.2813	56	0.184	183.595
6	15.2133	57	0.267	266.900
7	13.0216	59	0.221	220.705
8	8.9328	54	0.165	165.422
9	10.4759	55	0.190	190.471
10	7.2027	54	0.133	133.383
11	11.084	56	0.198	197.929
12	9.182	54	0.170	170.037
13	5.6932	52	0.109	109.485
14	8.2881	53	0.156	156.379
Prom.	10.5900	55.93	0.188	187.625
Min	5.6932	52	0.109	109.485
Max	17.1525	55.92	0.296	295.733
Desviación Estándar	3.2420	3.474	0.050	49.97
Mediana	9.89	55	0.187	178.147
Varianza	10.51049028	12.071	0.0025	2496.657

Anexo G. Rendimiento de cáscara y almendra de la semilla de lúcuma variedad seda

	REPETICIÓN			PROMEDIO		DESVIACIÓN ESTANDAR
	Masa g	Masa g	Masa g	Masa g	Porcentaje	
Lúcuma						
Pulpa	1.450	1.439	1.500	1.463	79.37%	0.033
Cáscara (verde)	0.163	0.152	0.168	0.161	8.73%	0.008
Cáscara (café)	0.052	0.058	0.060	0.057	3.07%	0.004
Almendra	0.163	0.160	0.165	0.163	8.83%	0.003
TOTAL	1.828	1.809	1.893	1.843	100.00%	

Anexo H. Lúcumas utilizadas para el almidón extraído.



Fruto de la lúcumas variedad de seda



Pulpa



Cáscara verde



Cáscara café



Almendra PEA

Anexo I. Rendimiento del almidón de lúcumá.

Secado	Masa (g)			PROMEDIO		DESVIACIÓN	
				Masa (g)	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
5 °C	32.5	26.25	35.00	31.25	51%	4.51	0.93%
40°C	30.00	25.00	33.75	29.58	49%	4.39	0.88%

Anexo J. Proceso de extracción de almidón de las semillas de lúcumá.



Licuada



Tamiz de N° 60 (250µm)



Tamiz de N° 80 (180µm)

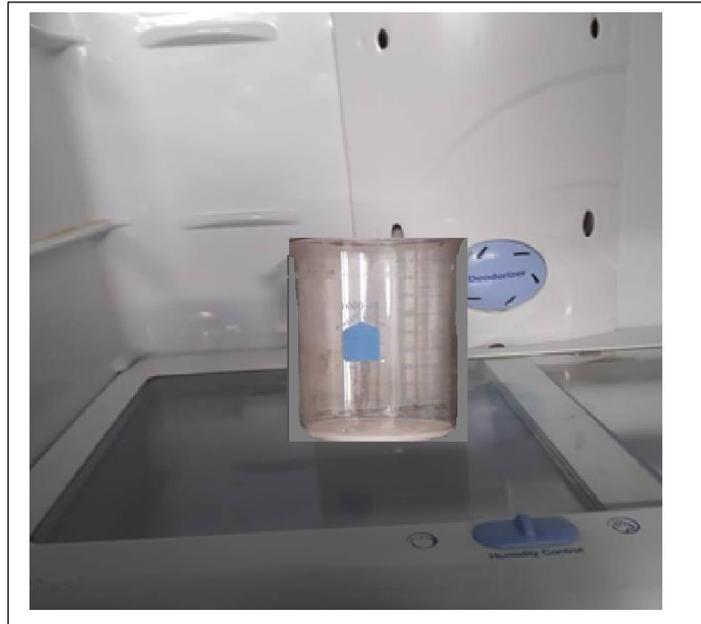


Sedimentación del almidón



Mosto

Anexo K. Secados con aire frio



Anexo L. Secado con aire caliente horno o estufa



Anexo M. Certificado de análisis físico químico del almidón.



MINISTERIO DE AGRICULTURA
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA
 LABORATORIO DE ANALISIS
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 ANEXO SALCEDO
 Ofic. Principal: Av La Molina 1981-La Molina Lima



CERTIFICADO DE ANALISIS

SOLICITANTE : Miraya Esmeralda Cari Bellido
 DIRECCION :
 INTERESADO :
 PROCEDENCIA : Juliaca - Puno.
 PRODUCTO : Almidon de Semilla de Lúcumá.
 CANTIDAD : 100 gr.
 MUESTREO : Interesado.
 TIPO DE ANALISIS : Análisis Proximal.
 N° DE ANALISIS : 02.
 FECHA DE RECEPCIÓN : 16 de Enero del 2018
 FECHA DE CERTIFICACIÓN : 05 de Febrero del 2018.

DETERMINACIONES FISICO QUIMICAS:

Determinaciones	Secado a 5 °C	Secado a 40 °C
Humedad %	14,82	6,26
Proteína (N x 6.25) %	0,74	0,68
Fibra %	1,28	1,30
Cenizas %	0,29	0,20
Grasa %	0,23	0,10
ELN %	99,16	98,97
Energía (Kcal./100g)	338,66	324,33
Índice de Acidez %	0,00	0,00

Referencias:

Normas ó Métodos de ensayo utilizados en el Laboratorio:

- 224. Determinación de Proteína Método Kjeldahl (F.C. 6.25).
- 225. Determinación de Grasa Método Gravimétrico.
- 226. Determinación de Humedad Método Por diferencia.
- 227. Determinación de Cenizas Método Gravimétrico.
- 228. Determinación de Acidez Método Volumétrico.
- 229. Determinación de Fibra Método Weendy.

Conclusiones:

La muestra analizada de Almidon de Semilla de Lúcumá CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales, así mismo se encuentra dentro de los límites permisibles, es conforme según las Normas Técnicas Peruanas.

Nota:

Ninguno.

Validez del Certificado:

El presente Certificado es válido, si permanece en el papel original. El documento en su papel original tendrá validez por el periodo de noventa (90) días calendario a partir de la fecha de emisión.

Los resultados son aplicables a estas muestras.



INIA
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 Ing° JORGE CANIVUA ROJAS
 Jefe Laboratorio Análisis
 SALCEDO

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n
 Puno, Puno, Perú
 T: (051) 363-812