

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias



Una Institución Adventista

Extracción y caracterización del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) de la variedad k'ellu kamusa

Autor:

Bety Daysi Apaza Morocco

Asesor:

Dr. Augusto Pumacahua Ramos

Juliaca, setiembre de 2018

DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Dr. Augusto Pumacahua Ramos, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE OCA (*Oxalis tuberosa*) DE LA VARIEDAD K’ELLU KAMUSA” constituye la memoria que presenta la Bachiller Bety Daysi Apaza Morocco 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 tres días del mes de setiembre del año dos mil dieciocho.



Dr. Augusto Pumacahua Ramos

**Extracción y caracterización del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*)
de la variedad k'ellu kamusa**

TESIS

**Presentada para optar el título profesional de Ingeniero de
Alimentos**

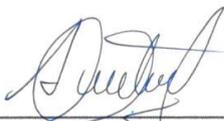
JURADO CALIFICADOR



Mg. Efraín Velásquez Mamani
Presidente



Ing. Enrique Mamani Cuela
Secretario



Ing. Ana Mónica Torres Jiménez
Vocal



Ing. Alex Danny Chambi Rodríguez
Vocal



Dr. Augusto Pumacahua Ramos
Asesor

Juliaca, 03 de setiembre de 2018

DEDICATORIA

En primer lugar, este proyecto de investigación va dedicado a Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos, los momentos difíciles y la fortaleza que me dio y me da para seguir adelante en esta vida.

Así mismo dedico este proyecto de investigación a la Universidad Estadual de Ponta Grossa, PR, Brasil.

También dedicar este proyecto de investigación a la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Peruana Unión por la disponibilidad de los laboratorios y apoyo ofrecido.

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada y sobre todas las cosas doy gracias a Dios, por brindarme el conocimiento, sabiduría, inteligencia y las oportunidades para que este proyecto sea realizado, por estar presente en muchas adversidades y logros de mi vida ya que todo lo que tengo se lo debo a él y el hecho de hacer realidad este sueño es gracias al Dios todo poderoso.

Por otro lado, agradezco a mis padres, mi hermanita, por su confianza, sus consejos, su apoyo y muchas veces su compañía en los momentos más difíciles de mi vida.

Agradecer al Dr. Ivo Motin Damiate y Dra. Camila Dlinisky Bet del departamento de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Estatal de Ponta Grossa, PR-Brasil.

Agradecer grandemente al Dr. Augusto Pumacahua Ramos por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto, a mis jurados por sus recomendaciones, aportes y por brindarme apoyo para que este proyecto sea culminado.

De igual manera a agradecer por el apoyo incondicional a los ingenieros: Danny Chambi Rodríguez, Ana Mónica Torres Jiménez, Joel Coaquira Quispe, Enrique Mamani Cuela y Carmen Rosa Apaza Humerez.

Bety Daysi Apaza Morocco.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	14
INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo general.....	15
1.1.2 Objetivo específico.....	15
CAPÍTULO II.....	17
REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.1. Oca (<i>Oxalis Tuberosa</i>).....	17
2.1.8. Importancia de los cultivos andinos dentro de la economía peruana.....	24
2.2. Almidones.....	25
2.2.10. Métodos de extracción de almidón.....	36
2.3. Propiedades morfológicas del almidón.....	38
2.4. Propiedades térmicas.....	41
2.4.1. Termogravimetría y termogravimetría derivada (TG/DTG).....	41
2.5. Antecedentes.....	48
CAPÍTULO III.....	53
MATERIALES Y MÉTODOS.....	53
3.1. Lugar de ejecución.....	53
3.2. Materia prima e insumos.....	53
3.3. Materiales y Metodología.....	53
3.3.3. Metodología.....	54
3.4.8. Determinación de la morfología del granulo de almidón de oca por microscopia electrónica de barrido (SEM).....	58
3.4.9. Termogravimetría y termogravimetría derivada (TG-DTG).....	58
3.5. Calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	58

3.6.	Difracción de Rayos X.....	59
3.7.	Determinación de las Propiedades de pasta de almidón (RVA).....	59
3.8.	Diseño experimental y análisis estadístico	59
CAPÍTULO IV		61
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		61
4.1.	Extracción y determinación del rendimiento del almidón de la oca.....	61
4.2.	Forma y tamaño de los gránulos de almidón de oca.....	65
4.4.	Termogravimetría y termogravimetría derivada (TG/DTG) y calorimetría de barrido (DSC).71	
4.5.	Calorimetría diferencial de barrido DSC	75
4.6.	Difracción de rayos X (XRD).....	78
4.7.	Determinación de las propiedades de la pasta (RVA)	79
CAPÍTULO V		86
CONCLUSIONES Y RECOMENRACIONES		86
5.1.	Conclusiones	86
5.2.	Recomendaciones	87
REFERENCIAS		89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la Oca.	19
Tabla 2. Información morfológica de las variedades de oca existentes.	22
Tabla 3. Composición química de la “Oca” (Oxalis Tuberosa), la “Arracacha” (Arracaccia xanthorrhiza) y el “Tarwi” (Lupinus mutabilis) por 100 gr de materia prima en fresco.	23
Tabla 4. Producción agropecuaria, según principales productos, 2008-2014 descrita en: (miles toneladas métricas).	24
Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas de amilosa y amilopectina.	27
Tabla 6. Análisis químico proximal de los almidones de los tubérculos andinos.	29
Tabla 7. Funciones de los almidones en diversos productos alimenticios.	31
Tabla 8. Tamaño y forma de los gránulos de almidón de makal, camote, yuca y sagú, comparados con almidones de otros tubérculos.	39
Tabla 9. Hinchamiento y solubilidad de algunos almidones a 60°C y 90°C.	47
Tabla 10. Tratamientos del estudio de la extracción del almidón de oca.	60
Tabla 11. Datos de la extracción del almidón de oca, el rendimiento en porcentajes y su desviación estándar.	61
Tabla 12. Resultados y cantidad de pruebas de la extracción de almidón de Oca y sus resultados del rendimiento.	62
Tabla 13. Resumen de los resultados de los resultados del rendimiento del almidón de oca.	63
Tabla 14. Resultados del análisis de varianza de los resultados del rendimiento.	64
Tabla 15. Resultado de formas de almidones, provenientes de diversas fuentes.	67
Tabla 16. Tamaño de los gránulos provenientes de diversas fuentes como: almidón de oca, almidón de olluco, almidón de mashua, almidón de ñame, almidón de plátano, batata, yuca, arracacha, mapuey blanco, mapuey morado, almidón de chachafruto y almidón de mirabilis jalapa.	70
Tabla 17. Resultados de la termogravimetría y termogravimetría derivada (TG/DTG.	74
Tabla 18. Resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido.	76
Tabla 19. Resultados de propiedades de pasta de RVA.	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variedades de ocas existentes.	20
Figura 2. Demostración grafica de estructura de la amilosa. Fuente: (Bernabé Meza, Magali, Cancho Mallma, & Lesli, 2017).....	28
Figura 3. Demostración grafica de la estructura de la amilopectina, (Bernabé Meza et al., 2017).....	29
Figura 4. Microfotografías de dos variedades de gránulos de Mandioquinha - salsa observados en microscopio electrónico de barrido Amarela de Carandaí (AC) y Amarela de Senador Amaral (ASA), (aumentado: 500X; en el destaque 3000X). Fuente: Rocha, Demiate, & Franco, (2008, p. 624).....	40
Figura 5. Equipo para análisis diferencial de barrido (DSC). Fuente: (Victoria Carolina Coelo Ortiz & Barcia, 2012).....	42
Figura 6. Cambios granulares en función a la viscosidad visto mediante un viscoamilografo. Fuente: (Thomas & Atwell, 1999, p. 20).....	46
Figura 7. Diagrama de flujo de la extracción de almidón de oca.	55
Figura 8. Resultados del rendimiento de la extracción del almidona de oca mostrados en gráficos.	63
Figura 9. Imágenes de gránulos de almidón nativo de Oca observados mediante Microscopia Electronica de Barrido (SEM) vista a 1000 X y 1600 X de aumento.	66
Figura 10. Tamaño de los gránulos de almidón de oca observados a 1000X de aumento mediante Microscopia de Fuerza Atómica (MFA).....	69
Figura 11. Curvas de termogravimetria, temperaturas y pérdidas de masa del almidón de oca de la variedad K´ellu kamusa.....	73
Figura 12. En la presente figura se observan los resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido.....	76

Figura 13. Difractograma de rayos X (DRX) de almidón nativo de oca con sus respectivos picos de intensidad.	78
Figura 14. Resultados de viscosidad del almidón de oca de variedad K'ellu kamusa.	80

SÍMBOLOS USADOS

X	: Aumento
DSC	: Calorimetría Diferencial de Barrido
cP	: Centipoise
σ	: Desviación estándar
ΔH	: Diferencia de entalpia
XRD	: Difracción de rayos X
ΔH_g (J g ⁻¹)	: Entalpia
Gr	: Gramos
μm	: Micrómetros
SEM	: Microscopia electrónica de barrido
Mg	: Miligramos
ml	: Milímetros
%T	: Porcentaje de transmitancia
RVA	: Análisis rápido de viscosidad
TG	: Termogravimetría
DTG	: Termogravimetría derivada
T _o	: Temperatura inicial de gelatinización
T _p	: Temperatura de pico gelatinización
T _p (°C)	: Temperatura de pico
T _c	: Temperatura final de gelatinización
$\Delta m\%$: Variación de porcentaje de masa
ΔT (°C)	: Variación de Temperatura
(2 θ)	: 2 Theta

RESUMEN

La finalidad de este proyecto de investigación fue extraer el almidón de oca de la variedad k'ellu kamusa y seguidamente se evaluó el rendimiento del almidón luego se realizaron las características morfológicas, reológicas y térmicas al almidón de oca. Donde la oca se sometió a procesos de molienda que variaron de 5 min, 10 min y 15 min luego este fue tamizado y los resultados indicaron que el tiempo no fue significativo y el rendimiento mayor fue de: 28.39 %. Gracias al uso del microscopio electrónico de barrido (SEM) se pudo determinar la morfología de los gránulos de almidón, donde los almidones presentaron formas elípticas y ovaladas con longitudes de 29,87 μm , el sistema de análisis térmico TGA-50 fue útil para los análisis de termogravimetría (TG), termogravimetría derivada (DTG) y calorimetría diferencial de barrido (DSC), donde el almidón de oca presentó tres etapas de descomposición y una estabilidad que varía de 128.96-229.71°C mientras que en el resultado de DSC se pudo apreciar que el almidón de oca muestra un pico alto a una temperatura de 55.50°C con una entalpia de 11.04 ΔHg (J g⁻¹), el difractograma de rayos X mostró un patrón tipo B que es característicos de los almidones de tubérculos. Finalmente las propiedades de pasta (RVA) del almidón se determinaron utilizando un viscoamilografo, donde el almidón de oca generó una viscosidad de 5680 cP a una temperatura proximal de 94 °C. Por lo que cabe mencionar que los almidones de oca requieren una menor cantidad de energía para que este pueda llegar a la gelatinización y este puede generar una viscosidad alta a comparación de otros almidones lo cual es beneficioso en costos y su aplicación podría estar asociado a productos que requieren bajas temperaturas o productos de congelación.

Palabras clave: Almidón, rendimiento, morfología, propiedades reológicas y térmicas.

ABSTRACT

The purpose of this research project was to extract the goose starch from the k'ellu kamusa variety and then the starch yield was evaluated, then the morphological, rheological and thermal characteristics of the goose starch were made. Where the goose was subjected to grinding processes that varied from 5 min, 10 min and 15 min then it was sifted and the results indicated that the time was not significant and the highest yield was: 28.39%. Thanks to the use of the scanning electron microscope (SEM) it was possible to determine the morphology of the starch granules, where the starches presented elliptical and oval forms with lengths of 29.87 μm , the TGA-50 thermal analysis system was useful for the analysis of thermogravimetry (TG), derived thermogravimetry (DTG) and differential scanning calorimetry (DSC), where the goose starch presented three stages of decomposition and a stability that varies from 128.96-229.71°C whereas in the DSC result it was possible to appreciate that the goose starch shows a high peak at a temperature of 55.50°C with an enthalpy of 11.04 ΔHg (J g^{-1}), the X-ray diffractogram showed a type B pattern that is characteristic of tuber starches. Finally, the paste properties (RVA) of the starch were determined using a viscoamilograph, where the goose starch generated a viscosity of 5680 cP at a temperature of 94 ° C proximal. So it is worth mentioning that goose starches require a lower amount of energy so that it can reach gelatinization and this can generate a high viscosity compared to other starches which is beneficial in costs and its application could be associated with products that require low temperatures or freezing products.

Key words: Starch, yield, morphology, rheological and thermal properties.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los productos andinos originarios de la región Puno presentan cualidades interesantes que benefician a la población, pero generalmente algunos de estos productos no tienen una alta relevancia ante la población, también uno de los problemas es que la producción de algunos de estos productos andinos es baja, en este proyecto de investigación nos enfocaremos en la oca, por ejemplo el (INEI, 2014) menciona que en el año 2013 la producción de oca fue de 94.7 mil toneladas, mientras que el de la papa que es un tubérculo muy popular y muy consumido en el Perú tubo la producción de 4.570.7 toneladas en el mismo año, por otro lado según el (BCRPD, 2017) en año 2015 la producción fue de 94.7 mil toneladas, en el 2016 la producción de oca fue de 92.8 y en el año 2017 la producción fue de 97.0 mil toneladas, en cambio la producción de papa en el año 2017 fue de 294.1 mil toneladas. Se ve que la oca es uno de los tubérculos que tiene una baja producción a comparación de la papa, camote (256.3), yuca (112.5) y olluco (183.8). Por lo que cabe recalcar que la oca al igual que la mashua y la papa nativa tienen una relevancia insignificativa en el mercado peruano.

Generalmente en el mercado peruano existe una baja comercialización de productos ya industrializados no muy reconocidos elaborados a base de ciertos cultivos andinos entre ellos tubérculos, se ve también que en los últimos años se le dio prioridad a los granos andinos que obtuvo relevancia en el mercado peruano y exterior gracias a las investigaciones que se realizaron y se realizan, por otro lado cabe mencionar que hace falta darle un valor agregado y hacer saber que existen otros productos andinos que poseen cualidades interesantes que son muy útiles para la industria alimentaria y para el ser humano. La oca es un producto originario de los andes, fuente importante de energía y una de las cualidades de este tubérculo es que crece bien en latitudes más altas, lo cual es favorable para su alta producción en nuestra región.

La falta de industrialización de los múltiples productos que existen en nuestra región se debe al escaso conocimiento de las cualidades que posee cada producto andino. Por ejemplo algunas de las limitaciones para la industrialización del almidón de oca es la falta de conocimiento de los procesos, métodos de extracción, identificación de las características

térmicas, características reológicas y morfológicas al que se deben someter la oca y al almidón de oca, ya que estos conjuntos de análisis son las que definen la calidad del almidón. Y gracias al uso de estos análisis experimentales, se puede presagiar la utilidad de estos almidones para su posterior aplicación en la industria de alimentaria, puesto que algunos de ellos son útiles para: La aplicación en la industria de panadería, jugos, helados, salsas, golosinas, etc. Por otro lado, también se da a conocer que el diagnóstico de la producción de algunas raíces y tubérculos andinos demuestra que existe una demanda limitada de estos productos y escasas posibilidades de expandirla por la inexistencia de usos alternativos.

Todos los procesos a nivel de laboratorio para la sustracción de almidones de los tubérculos en general, normalmente consisten en romper las paredes celulares para liberar los gránulos de almidón por medio de un proceso de licuado, seguidamente haciendo la adición de agua y luego se procede con el filtrado, todo esto permite la separación de las partículas de almidón presentes en los tubérculos (Cobana & Antezana, 2007).

Lo que se quiere lograr con la presente investigación es contribuir a la valoración de estos productos andinos provenientes de nuestra región, poder estudiar y demostrar el contenido, rendimiento, las propiedades térmicas, morfológicas y calidad de almidón que posee este tubérculo como posibles fuentes amiláceas que se puedan dar uso para contribuir en gran manera a la industria alimentaria.

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo general

- Extraer y caracterizar el almidón de oca (*Oxalis Tuberosa Moll*) de la variedad k'ellu kamusa.

1.1.2 Objetivo específico

- Extraer y determinar el rendimiento de almidón de oca con tres tiempos de licuado.
- Determinar el tamaño y forma de los gránulos de almidón mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).
- Determinar las propiedades térmicas por Termogravimetría y termogravimetría derivada (TG/DTG), Calorimetría diferencial de barrido (DSC).
- Determinar la Difracción de rayos X (XRD).

- Determinación de las propiedades de la pasta (RVA).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Oca (*Oxalis Tuberosa*)

2.1.2. Origen y descripción de la oca

La primera descripción botánica de la oca, al parecer fue realizada por el jesuita Giovanni Ignacio Molina (Mol.) en 1810. Nótese que la palabra “okka” Figura en el diccionario quechua de J. Lira (1982), y se refiere a una planta que produce tubérculos dulces y comestibles ricos en almidón (Amaguaña & Manjarrez, 2013, p.20).

La “oca” generalmente crece entre los 3000 y 4000 msnm, este tubérculo es originario del altiplano peruano, pueden desarrollarse en ambientes templado-fríos. La mayor variabilidad se encuentra en los valles de Cusco y Ayacucho en Perú, así como en el altiplano boliviano (Ruiz, 2010, p21).

Por un lado (Laos & Rivera, 2004) “Las raíces y tubérculos andinos son fuentes importantes de energía, debido principalmente a su contenido de almidón un polisacárido muy complejo que se almacena en forma de gránulos en la célula de membrana delgada” (p.7).

En la región de Puno la oca es el segundo tubérculo con mayor siembra y cosecha en área de cultivo y con importancia en los Andes, que sigue después de la papa. Hay que mencionar también que la oca es fácil de hallar en los Andes de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, que son cultivadas entre 2500 y 4100 metros sobre el nivel del mar. El límite de altitud con mayor concentración de parcelas y mayor producción está entre los 300 y 3800 msnm, donde el clima es frío, pero con suficiente precipitación (mayor que 600 mm) y sin incidencia de heladas (Tapia & Fries, 2007, p.55).

Además de ello la oca es un cultivo originario de los andes al igual que otros tubérculos andinos, su domesticación está centrada en la región central del Perú y el norte de Bolivia donde se encuentran la mayor diversidad, tanto de formas cultivadas como silvestre, se le habría dado origen junto con la papa a la actividad agrícola en las zonas agroecológicas más altas de los andes. Su cultivo fue introducido en México hace 200 o 300 años, la introducción de la oca en Europa se hizo en el siglo pasado. La presencia de la oca en Nueva Zelanda es

conocida desde 1860, y su cultivo parece haber ganado popularidad durante los últimos 20 años (Gisela del Carmen Hermosa Mendoza, 2013, p.8).

2.1.3. Descripción botánica

Existen diferentes definiciones de las características y descripciones de los tubérculos en general de acuerdo a su origen, pero en este caso se revelan las siguientes definiciones de las descripciones botánicas de la oca por el autor Tapia & Fries, (2007) quien afirma que:

La oca es una especie anual, erecta de 20 a 70 cm, de tallos son cilíndricos y suculentos, con ligera pubescencia (presencia de pelos) en los tallos. Las hojas son alternas y trifoliadas como las de trébol; la inflorescencia es muy variable, en todos los casos se produce una sola flor. La oca rara vez produce frutos, pues por lo general las flores se desprenden poco después de abrirse. Su tiempo de crecimiento es de 220 días para las más precoces y de 269 para las más tardías. La tuberización comienza más o menos a los 110 días después de la germinación y el mayor crecimiento de los tubérculos ocurre entre los 170 y 230 días (p.55).

La oca es una planta herbácea y posee tubérculos que miden de 5 a 15 cm de Largo, los cuales tienen formas muy variadas. De acuerdo a los descriptores morfológicos estándar de la oca, existiría una forma más que es la alargada, lo cual coinciden con lo observado en colecciones germoplasma de oca en los tres países que son Ecuador, Perú y Bolivia. En los descriptores estándar no se mencionan características de los ojos, probablemente porque este no es su carácter discriminante de la variedad de este cultivo. Sin embargo, hay que notar que los ojos varían de horizontales, poco curvos, cortos o largos, así como muy aproximados entre sí o alejados y superficiales o profundas. Las brácteas que cubren a los ojos pueden ser amplias y cortas o casi inexistentes o también amplias y estrechas, pero largas (Ruiz, 2010, p.22).

La oca generalmente se reproduce en suelos francos, profundos y con buen contenido de materia orgánica. Para una adecuada fertilización, es recomendable usar campos de rotación después de las papas que fueron bien abonados y completar con materia orgánica. Por otro lado la oca genera resultados muy buenos frente a la fertilización con materia orgánica, complementada con nitrógeno y fósforo a niveles adecuados de 80-40-0. Si se quieren obtener rendimientos apropiados de las de 15 t/ha se necesita una complementación con fertilizantes (Tapia & Fries, 2007, p. 45).

La siembra se ejecuta con tubérculos que se encuentren en buen estado sanitario y en lo posible que estos estén conservados en un almacén de luz difusada. Generalmente la época de siembra varía según la altitud. En su mayoría se cultiva bajo secado por lo que se le debe sembrar cuando exista una buena acumulación de lluvias, es decir más de 120mm, entre fines de septiembre y principios de noviembre. El tamaño y peso de la semilla son parámetros que influyen en la densidad del tubérculo; que puede variar de 800 kg/ha de semilla pequeña (20 g) y 1300 kg/ha de semilla de mayor tamaño (Tapia & Fries, 2007, p.46).

Como la oca se siembra generalmente después de un campo con papas, requiere poca labor de preparación del suelo, salvo el desterronado que se denomina chapallu y se efectúa con un rastrillo o raucana. En la mayoría de casos se aporca una sola vez, pero responde con mejor producción a la repetición del aporque. Se ha demostrado que el control de malezas beneficia grandemente a la producción, lo cual se efectúa al momento del segundo aporque, elevándose el rendimiento de 6 t/ha a más de 20 t/ha, cuando el deshierbo está acompañado de una buena fertilización complementaria (Tapia & Fries, 2007, p.46).

2.1.4. Taxonomía de la Oca

El nombre científico de la oca es *Oxalis Tuberosa* Mol, la denominación oca depende al lugar de origen de este tubérculo. Tapia & Fries, (2007) presentan las siguientes denominaciones de la oca, donde por ejemplo en el Perú se le denomina como Oca, Oqa; apilla (aymara, Bolivia, Pero); Ibia (Colombia); Cuiba (Venezuela) en la siguiente (Tabla 1) según Amaguaña & Manjarrez, (2013), la clasificación taxonómica de la oca sería la siguiente.

Tabla 1
Clasificación taxonómica de la Oca.

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	
Reino:	Especie
División:	Plantae
Clase:	Magnoliophyta
Orden:	Mgnoliopsida
Familia:	Geraniales
Genero:	Oxalidaceae
Nombre binomial:	<i>Oxalis tuberos</i>

Nota: Información obtenida de: Amaguaña & Manjarrez, (2013).

2.1.5. Variedades de Ocas

Se conocen tres formas básicas de oca: alba, flavas y rose violáceas a negra:

- Albas: Son las ocas de color blancas (ejemplo pili runto o huevo de pato).
- Flavas: Generalmente estas ocas se caracterizan por ser de colores amarillo claro, pigmentados, de pigmentos o flavonas de color amarillo intenso y las anaranjadas, con pigmentos de caroteno.
- Roseo violáceas: Pueden relacionarse con ocas que son pigmentadas con antocianinas y de colores rosa claro, violeta muy oscuro hasta negro.

Sin embargo Tapia & Fries (2007) da a saber que la forma que presentan los tubérculos como la oca, pueden ser ovoides, claviformes y cilíndricas.

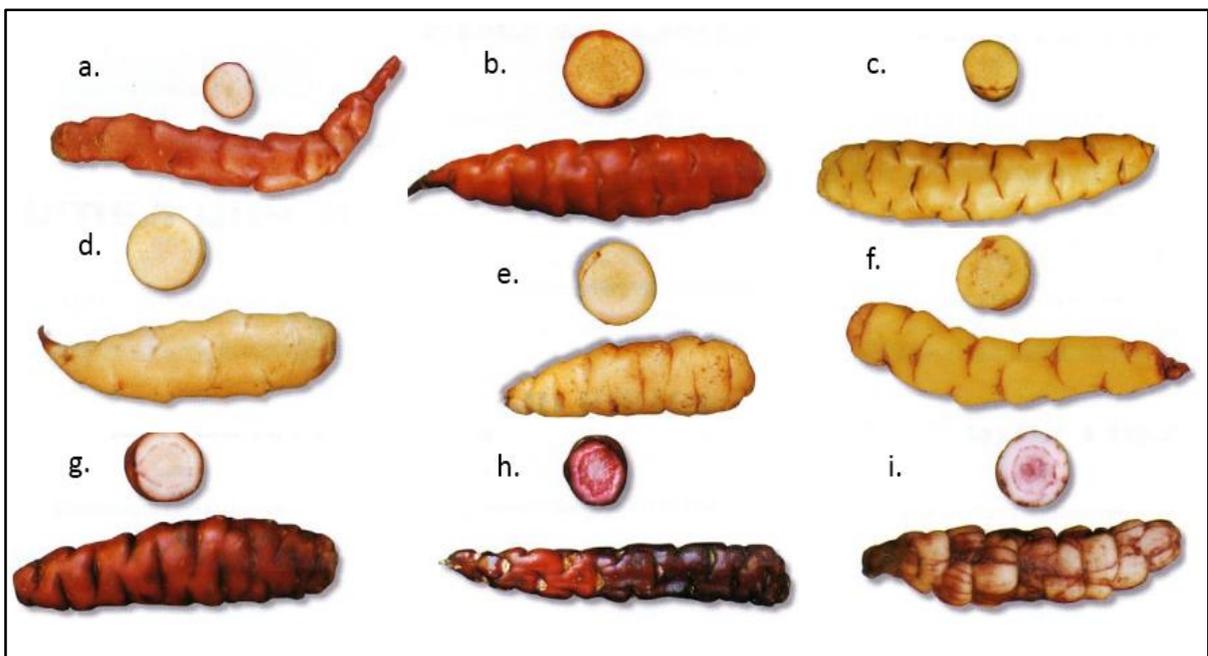


Figura 1. Variedades de ocas existentes.

Nota: Información tomada de Roberto Merino et al., (2003) se observa que algunas de las variedades de oca son: a. Ñañu puka kamusa, b. Lari oqa, c. K'ellu qayara, d. Bola Kamusa, e. Pili pintado, f. K'ellu kamusa, g. Tani, h. ana oqa y i. Kharisiri, el patrón (C) es la variedad de oca con el que se trabajó.

Según Ruiz (2010) afirma que “Existen al menos 50 variedades de oca, pero se reconocen tres formas básicas, albas, flavas y roseo violáceas a negras” (p. 35). En la siguiente (tabla 2) se menciona algunas de las variedades de oca que existen en el Perú.

Por otro lado los descriptores estandar señalan hasta 12 variaciones de colores que presenta la oca y que este varía del blanco hasta el purpura grisáceo oscuro, blanco amarillento, amarillo, naranja amarillento, rojo naranja, rojo naranja oscuro, rojo claro (rosado), rojo palido, rojo, purpura rojizo y purpura grisáceo claro. Los tuberculos pueden

presentar también coloración secundarias distribuidas ya sea en los ojos o alrededor de los ojos, que presentan tuberizaciones, manchas irregularmente distribuidas o como bandas o moteaduras sobre las tuberizaciones. El uso de tan amplia gama de descriptores puede dificultar en la evaluación de la diversidad de las ocas, por lo que se ha distinguido como colores base solamente a cinco clases: blanco, amarillo, rojo y púrpura y cada una de ellas puede presentar diferentes intensidades (Ruiz, 2010, p. 32).

Tabla 2

Información morfológica de las variedades de oca existentes.

Variedad	Datos Morfológicos		
	Color de la piel	Color de pulpa	Forma
Bola kamusa	Amarillo	Blanco amarillento	Cilíndrica
K'ellu kamusa	Amarillo	Blanco amarillento	Cilíndrica
Kellu Qayara	Amarillo con purpura rojizo en los ojos	Blanco amarillento	Cilíndrica
Kharisiri	Blanco amarillento con ojos grisáceos como veteaduras sobre tuberizaciones	Blanco con ojos claro en el anillo vascular y medula	Cilíndrica
Lari Oqa	Naranja amarillento con rojo alrededor de los ojos	Naranja amarillento	Cilíndrica
Lluchu Oqa	Purpura rojizo	Blanco con purpura rojizo en la medula y corteza	Ovoide
Ñaño Puka Kamusa	Naranja amarillento con rojo pálido alrededor de los ojos	Blanco amarillento	Alargadas
Oqa Patria	Purpura rojizo con blanco irregularmente distribuido	Blanco amarillento con rojo en el anillo vascular y medula	Alargadas
Uka Kamusa	Naranja amarillento con rojo pálido alrededor de los ojos	Amarillento	Alargada
Puka ÑawiKamusa	Amarillo con rojo pálido en los ojos	Blanco amarillento	Alargada
Pili Pintado	Blanco amarillento con rojo como veteaduras sobre tuberizaciones	Blanco con amarillo en el anillo vascular	Claviforme

Nota: Información recopilada de: Roberto Merino; Julian Carballo; Fructuoso Vargas; Narciso Ortiz; Pedro Vargas; Edwin Rodriguez; Martin Ortiz; Victor Torrez; Fortunato Carballo; Delia Vargas, (2003).

2.1.6. Composición química de la oca

El valor de los cultivos andinos constituye un complemento muy apreciado en la dieta andina, las investigaciones han realizado investigaciones sobre sus principales componentes químicos y de las características físicas, nutricionales y funcionales que les caracteriza, para orientar sus posibles usos y aplicaciones. Los isaños y ocas son otras de las diversas especies valiosas que heredaron nuestros antepasados. Para los futuros habitantes ya que van constituyendo la base alimenticia del poblador andino y sustituyen en muchos casos a la papa (Hermosa Mendoza , 2013).

Tabla 3

Composición química de la “Oca” (Oxalis Tuberosa), la “Arracacha” (Arracaccia xanthorrhiza) y el “Tarwi” (Lupinus mutabilis) por 100 gr de materia prima en fresco.

Componentes	Oca	Arracacha	Tarwi
Humedad (g/100gr)	86.79	77.89	18.72
Proteínas (g/100gr)	0.77	0.75	38.85
Fibra cruda (gr/100gr)	0.78	0.66	6.18
Carbohidratos (gr/100gr)	10.41	19.53	10.11
Cenizas (g/100gr)	0.78	0.80	4.28
Hierro (mg/100gr)	12.53	7.52	1.08
Calcio (mg/100gr)	17.18	51.11	72.85
Vitamina a (ui/100gr)	0.99	1.41	0
Vitamina c (mg/100gr)	39.68	18.01	3.60

Nota: Información seleccionada de: Elena et al., (2011).

2.1.7. Situación y perspectiva de la producción y consumo

Sobre el consumo de los tubérculos andinos como la oca de tierra fría, se tienen en los mercados de Colombia estos tubérculos que son abundantes y su consumo parece ser importante. Por otro lado, en los mercados de Perú y Bolivia son abundantes los isaños y las ocas, el uso del isaño y la oca en la alimentación, serían más generalizado si su conservación no fuera tan precaria. Debido a su succulenta y cutícula no suberizada, se seca o pudre fácilmente. No hay en los mercados oca ni isaño sino por unos dos o tres meses (Hermosa Mendoza , 2013).

Tabla 4

Producción agropecuaria, según principales productos, 2008-2014 descrita en: (miles toneladas métricas).

Principales Productos/Tubérculos	2008	2009	2010	2011	2012	2013 p/	2014p/
Papa	3,597,1	3,765,3	3,805,5	4,072,5	4,474,7	4,569,6	4,693,2
Yuca	1,171,8	1,166,0	1,240,1	1,118,6	1,118,5	1,191,6	1,187,5
Camote	189,9	262,7	263,5	299,1	304,0	292,1	278,2
Oca	93,0	100,6	94,0	90,0	92,9	94,7	91,0
Olluco	157,4	162,6	158,7	161,9	180,7	186,2	189,6
Maca	5,5	6,8	9,0	17,3	19,0	22,7	-
Mashua o Izaño	29,0	32,9	29,2	29,1	31,4	31,1	29,3

Nota: Instituto Nacional de Estadística e Informática, (2015).

2.1.8. Importancia de los cultivos andinos dentro de la economía peruana

El valor económico de la oca es como una fuente de ingresos para las familias pobres, resulta de vital importancia para las comunidades preocupadas por conseguir su seguridad alimentaria, por ello, en la población existe un creciente interés por la conservación de las variedades tradicionales de estos cultivos. Es necesario seguir aunando esfuerzos para la conservación de estos productos que se encuentran en vías de extinción (Hermosa Mendoza , 2013).

Los cultivos andinos que se producen en las sierras de nuestro Perú, se pueden dividir entre cultivos preferenciales y cultivos de producción marginal. El campesino destina su producción en parte para el autoconsumo y en parte para el mercado, y es a partir de su integración con este último que puede diferenciar y priorizar cultivos. Entre aquellos que hemos denominado preferenciales encontramos los que le representan simultáneamente seguridad alimentaria, vía el autoconsumo, y posibilidades de monetización a través de las ventas en el mercado, los cuales son cultivos como papa, cebada y maíz (Hermosa Mendoza , 2013).

Existen cultivos al que se les denomina cultivos marginales entre ellas están los productos que poseen seguridad alimentaria vía el auto consumismo estos son cultivos que se consumen y se intercambia básicamente solo a nivel de las familias campesinas. En este grupo se encuentran los cultivos andinos como la oca, mashua, tarwi, cañihua y quinua. Entre estos productos, la quinua es un cultivo que se encuentra en una etapa intermedia entre uno

y otro grupo, lo mismo sucede con el olluco o papalisa y la maca (Laos & Rivera, 2004, p. 11).

Los conocimientos tradicionales como los usos y la amplia diversidad de cultivos son una importante fuente del saber que debe ser incentivada también deben ser validados y sistematizada a través de acciones que contribuyan a una mayor sensibilización, mayor conocimiento, mejor uso y conservación sostenible de esta potencialidad. Por consiguiente, es útil, la discusión de diversas formas y enfoques, que contribuyan a favorecer el intercambio como también la relación entre productores, transformadores, comercializadores, consumidores, investigadores al igual que extensionistas de cultivos andinos; e implementar áreas temáticas complementarias relacionadas con la búsqueda de soluciones integrales a los problemas complejos de los cultivos andinos y de la población que los produce (Tapia & Fries, 2007, p. 9).

El termino raíces y tubérculos se refiere a cualquier planta en crecimiento que almacene material comestible en raíces subterráneas, o tallos modificados tales como estolones, rizomas, cormos o tubérculos, algunos de estos tallos, raíces o tubérculos que son excelentes fuentes de almidón (amiláceos) (Alberto Edel Leon & Rosell, 2007, p. 365).

Por otro lado, según estudios realizados por International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade (IMPACT) para proyectar la fuente, la demanda, el crecimiento, el comercio y los precios internacionales para las raíces y los tubérculos hasta el 2020 y la tendencia mundial son a mayor producción y consumo de estos rubros, inclusive en los países desarrollados. De manera que, a sabiendas de las altas pérdidas postcosecha, por efecto de las fallas en su comercialización, se tendrá que modernizar y optimizar las técnicas postcosecha y buscar procesos de alto valor agregado para estos cultivos, y es aquí donde la producción de harinas y extracción de almidón de estos rubros jugaran un rol de alta importancia (Alberto Edel Leon & Rosell, 2007, p. 366).

2.2. Almidones

2.2.1. Definición de almidones

El almidón es un polisacárido de tejidos que tienen como unidad estructural moléculas de glucosa, en forma de gránulos, que generalmente presentan una forma redondeada, irregular, los tamaños variante entre 2 y 100 micras, las formas como los tamaños de los gránulos son característicos de la especie vegetal, que contribuyen a la dieta

normal de los seres humanos con más calorías que cualquier otra sustancia (Laos & Rivera, 2004, p. 20).

Los almidones están constituidos en forma de gránulos que están en los cloroplastos de las hojas verdes y en los amiloplastos, estos últimos son el adecuado ambiente de almacenamiento ya que se encuentran en las semillas y los tubérculos. Las fuentes potenciales más importantes de almidones son los granos de cereales (40-90% de su peso seco), leguminosas (30-50% de su peso seco), tubérculos (40-70% de su peso seco) (Maria & Wenzel, 2006).

También cabe mencionar que el almidón es el principal hidrato de carbono de reserva en todas las plantas. En su estado nativo, el almidón es insoluble en agua fría, sus gránulos son parcialmente cristalinos donde la morfología, composición química, y su estructura supramolecular son características de cada especie en particular. Existe una variación de tamaño de estos gránulos, ya sean (entre 0.5 y 100 μm) (Maria & Wenzel, 2006).

El hecho de hacer un experimento con el uso del yodo para ver la presencia de hidratos de carbono, hace el yodo reaccione con la amilosa y genere un fuerte color azul debido al complejo que se establece entre una molécula de este con las glucosas del polímero; para desarrollar adecuadamente la coloración se requiere un mínimo de 40 residuos de monosacárido, por lo que las cadenas muy cortas de amilosa producen un color rojo en lugar de azul. Aparentemente el complejo amilosa yodo se establece por la inclusión del I_2 en la hélice, mecanismo semejante al que se observa en los monos acilglicéridos que se usan en la elaboración del pan para evitar su envejecimiento. Por otro lado, la amilopectina solo acompleja una pequeña cantidad de yodo y desarrolla una coloración roja. Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinada en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización. En ciertos casos, cuando una de estas fracciones está en exceso, puede traer consigo algunos inconvenientes; esto se observa por ejemplo en el arroz cocido, cuya calidad mejora cuando se reduce el contenido de amilopectina, pues resulta menos pegajosa (Dergal, 2012, p. 70). Además “La proporción de los dos componentes principales de almidón, amilosa y amilopectina, difiere según la fuente botánica, la variedad de la especie e incluso el grado de maduración dentro de la misma planta” (Yamani, Sanabria, & Filho, 2013, p. 454).

2.2.2. Generalidades

El almidón está constituido por dos grandes polímeros: la amilosa, polisacárido no ramificado que presenta una configuración helicoidal y la amilopectina, que es un polímero muy ramificado y con un mayor peso molecular ver (Figura 2 y 3). En la tabla 5 se puede observar algunas de las propiedades fisicoquímicas más importantes de la amilosa y amilopectina. Estos dos polímeros forman las regiones amorfas y cristalinas en el granulo de almidón (Hermosa Mendoza , 2013).

Tabla 5
Propiedades fisicoquímicas de amilosa y amilopectina.

Propiedad	Amilosa	Amilopectina
Estructura molecular / ramificada	Principalmente lineal/principalmente α -1-4	altamente ramificada/ α -1-4; α -1-6
Peso molecular	105-106 Da	107-109 Da
Yodo unión/color	20%/azul-negro	< 1% rojo-purpura
Digestibilidad por β -amilasa	100%	Aprox. 60%
Dilatación en soluciones acuosas	Inestable	Estable
Solubilidad	Baja/apenas soluble	Alta
Temperatura de Gelatinización	Baja	Alta
Temperatura de fusión	Baja	Alta
Complejo amilosa-lípido	Cantidad muy alta	No
Formación de gel	Firme, irreversible	Suave, reversible
Films	Coherente	No forma fácilmente
Viscosidad	Baja	Alta
Espesante	Pobre	Bueno
Estabilidad al Cizallamiento Fuerzas adhesivas	Relativamente estable	Inestable
Fuerzas adhesivas	Débil	Fuerte
Estabilidad de congelación -descongelación	Inestable	Estable

Nota: Información obtenida de:Elizabeth Fiorela Peña Carrasco, (2017, p.90).

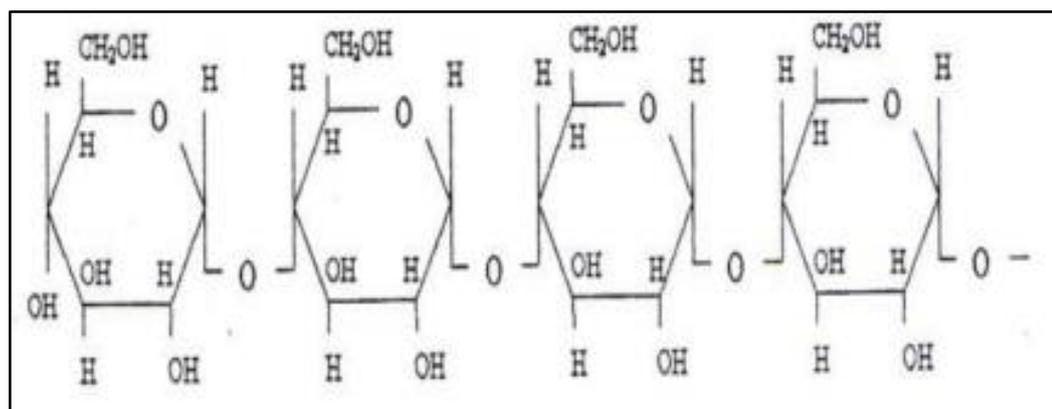
2.2.3. Amilosa

Con respecto a este tema, (Dergal, 2012, p. 68) describe que desde el punto de vista químico, el almidón es una mezcla de dos polisacáridos, la amilosa y la amilopectina; el primero es producto de la condensación de glucosas por enlaces glucosídicos α -(1,4), que establece largas cadenas lineales con 200-2.500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es un α -D-(1,4)-glucana. Tiene la facilidad de adquirir una

conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa ver Figura 2.

Muchas de las propiedades pueden explicarse en la habilidad de la amilosa de adoptar diferentes estructuras moleculares. En soluciones acuosas neutras, la estructura normal es la de una espiral. La amilosa tiene la capacidad de interactuar con el yodo que produce un complejo de inclusión helicoidal, teniendo aproximadamente seis moléculas de glucosa por giro, en el cual la molécula de yodo está en la cavidad central helicoidal del polisacárido. Este complejo da un color azul con una absorción máxima a las longitudes de onda entre 620 y 680nm. La amilosa puede formar complejos con los lípidos en las regiones superficiales del granulo. Es conocido que este tipo de complejo inhibe la degradación del almidón por enzimas como la fosforilasa, α -amilasa y β -amilasa. Otros investigadores han reportado que la amilosa y los lípidos coexistentes independientemente dentro del granulo y solo forman complejos una vez que la gelatinización se ha llevado a cabo (Maria & Wenzel, 2006, p. 25).

Figura 2. Demostración grafica de estructura de la amilosa. Fuente: (Bernabé Meza,



Magali, Cancho Mallma, & Lesli, 2017).

2.2.4. Amilopectina

El otro componente que es parte de la estructura del almidón es la amilopectina, Dergal, (2012), afirma que la amilopectina se diferencia de la amilosa en el que su presentación es ramificada que le dan una forma molecular que se asemeja a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizada cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto, ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones, aunque se han reportado pesos entre 300.000 y 500.000 de daltones ver Figura 3.

La amilopectina puede degradarse por acción de la enzima β -amilasa en las uniones α -(1-4) produciendo dextrinas β -límite (que son las cadenas residuales que contienen los puntos de ramificación) y después puede ser atacada por las enzimas pululanasa o isoamilasa que actúan en los enlaces α -(1-6) produciendo maltosa. El peso molecular de la amilopectina varía entre 50 y 500 x 10⁶ daltons. Estas variaciones están influenciadas por el origen botánico del almidón, el método usado para determinar la masa molar. El tamaño tan grande de esta molécula genera algunos problemas en la determinación de la masa molar, los cuales se han ido superando con las recientes técnicas desarrolladas (Maria & Wenzel, 2006, p. 26).

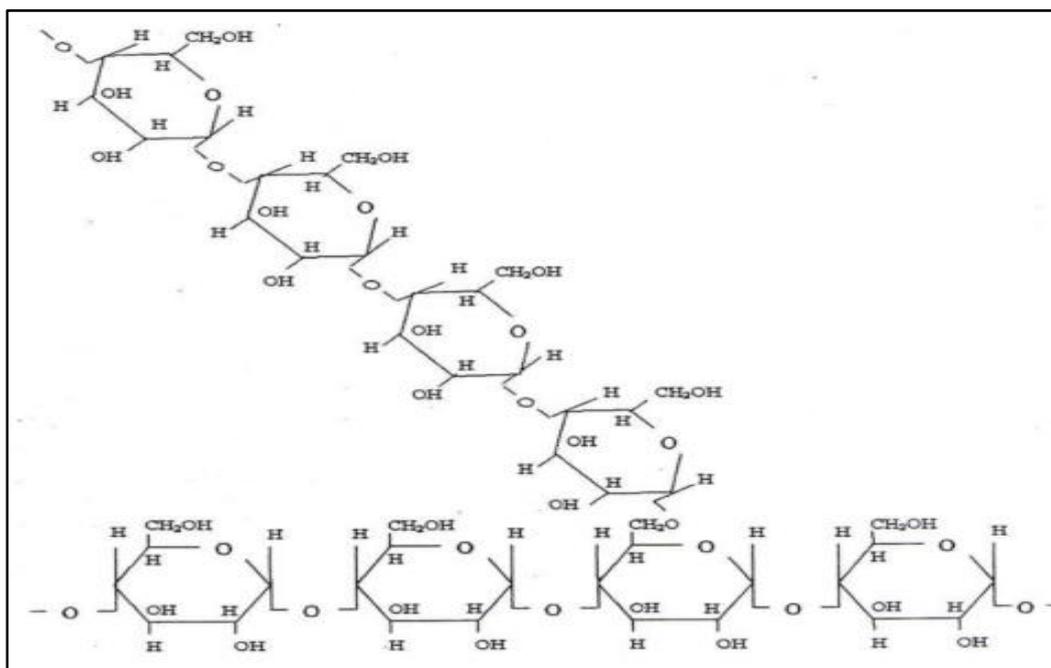


Figura 3. Demostración grafica de la estructura de la amilopectina, (Bernabé Meza et al., 2017).

2.2.5. Características fisicoquímicas del almidón de oca

En seguida se muestra algunas de las características fisicoquímicas, contenido de amilosa y amilopectina de la oca, olluco y mashua, la composición se muestra en base a 100gr de almidón ver tabla 6.

Tabla 6

Análisis químico proximal de los almidones de los tubérculos andinos.

Nota: Información recopilada de: Laos & Rivera, (2004).

Determinación	Especie		
	Oca	Olluco	Mashua
Humedad (%)	11.1	10.1	11.8
Proteína	0.3	0.2	0.5
Grasa	0.0	0.0	0.0
Cenizas	0.6	0.5	0.6
Fibra	-	-	-
Carbohidratos	88.7	89.2	87.1
Fosforo (ppm)	36.0	47.5	138.5
Amilosa %	29.0	26.0	27.0

2.2.6. Fuentes principales de almidón

Los autores tales como Vaclavik y Christian (2002) Afirman que 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” (p. 40).

El almidón también es considerado un hidrato de carbono que es importante en la alimentación del hombre después de la celulosa este polisacárido es el más abundante e importante desde el punto de vista comercial. Ya que se encuentra en cereales, tubérculos y en algunas verduras y frutas como polisacárido de reserva energética. Su concentración varía según el estado de madurez del vegetal en el generalmente se encuentra, como ocurre con el plátano: en estado verde o inmaduro el almidón constituye la mayor fracción de los hidratos de carbono, ya que los azúcares se notan en menos proporciones; a medida que la fruta madura el polisacárido se hidroliza por la acción de las amilasas endógenas, mediante otros sistemas enzimáticos ocurre el proceso de la sintetización de la sacarosa y la fructuosa que se encuentran a mayor crecimiento cuando llegan a la maduración (Dergal, 2012, p. 68).

2.2.6. Usos del almidón

A medida que ha transcurrido el tiempo, se vio que los almidones han formado parte de la industria alimentaria por diversas cualidades y propiedades funcionales, además de su característica transformable y bajo costo en comparación con otros productos o aditivos que cumplen casi la misma función, el almidón se distingue por contribuir en gran manera a las propiedades de textura de variedades de productos industrializados, ya que actúa como espesante y ser un agente gelificante, enlazante de agua y grasa, controla y también influye en ciertas características tales como: humedad, consistencia, apariencia y estabilidad en el

almacenamiento, además juega un papel importante en la aceptabilidad y palatabilidad de variedades de productos de la industria alimentaria (Rached et al., 2006).

Por otro lado Hermosa Mendoza (2013) menciona que los almidones permiten reemplazar ingredientes más costosos y facilitan la fabricación de diferentes productos, además de ello los almidones se utilizan para espesar o fluidificar, para clarificar o u opacar ciertos productos, para traer la humedad o repelerla para producir texturas cortas o largas lisas o pulposas, revestimiento blandos o crujientes, los almidones o sus productos derivados se utilizan en fabricaciones tan diversas como las de conservas, los productos frescos o ultra congelados, bebidas, productos de panadería, productos deshidratados o extruidos como se observa en la tabla 7.

En el ámbito empresarial en cuanto a la producción de almidón, Laojo & Wenzel, (2006) dan a conocer que “el maíz desempeña un papel importante en la industria, ya que se obtienen un gran número de productos y subproductos” (p. 463). También por otro lado (Guzmán Maldonado & Paredes López, 1995) mencionan que desde el punto de vista de la nutrición, el almidón es el principal componente de la dieta humana (del 70 al 80% de las calorías diarias): actualmente existe la tendencia a conservar la salud consumiendo alimentos que procuren ser más saludables, por medio de la reducción de azúcar refinado y grasa, sustituyéndolas por productos derivados del almidón.

Tabla 7
Funciones de los almidones en diversos productos alimenticios.

Funciones	Alimento
Adhesión	Rebozados, revestimiento
Anti-adhesion	Pan, gomas

Ayuda a la fluidez	Materias grasas, polvo para fermentar
Anti-endurecimiento	Productos de panadería
Encofrado	Confitería
Encapsulado	Aceites esenciales y aromas
Espesante	Salsas, sopas
Confección	Carne, productos para animales
Gelificante	Domésticos
Glaseado	Confitería
Ligante	Confitería, pastelería
Refuerzo de espumas	Albóndigas de carne, patatas, extruidos
Retención de agua	Marshmallows, bebidas
Estabilizante	Carnes, productos de panadería Bebidas, salsas para ensaladas Emulsificantes

Nota: Información obtenida de: (Hermosa Mendoza , 2013).

2.2.7. Fuentes industriales de almidón

Generalmente las principales contribuyentes de almidón a la industria alimentaria a nivel mundial, se obtienen de fuentes como la papa, maíz y cereales. Durante un año, pueden llegar a producir hasta mil millones de toneladas de almidón, de los cuales más del 50% se usan como productos aptos para el consumo humano después haber pasado por un proceso mínimo o transformación mínima, mientras que el resto del almidón pasa por transformaciones de otros procesos industriales no alimenticios.

El proceso industrial del almidón en su mayor parte proviene del maíz, ya que ocupa el primer lugar con 20 millones de toneladas, 1.2 millones de toneladas que provienen del trigo, 1.3 millones de toneladas provienen de la papa finalmente 2000 toneladas provienen del arroz, yuca, camote y sorgo estos datos lo da a conocer (Hermosa Mendoza, 2013).

Como anteriormente se mencionó que las fuentes comunes más importantes para el uso y la extracción del almidón son provenientes de cereales como: maíz, trigo, arroz y sorgo, se vio que en tubérculos también existen fuentes de almidón que son: la papa, la yuca, el boniato y sagú; por otro lado también por otro lado se vio que se puede encontrar en hojas, semillas de legumbres y frutos según (Hernández Medina et al., 2008, p. 719).

2.2.8. Importancia del almidón en la industria alimentaria

Los almidones son utilizados como materia prima en diversas industrias, representando un insumo vital para la industria de alimentos como estabilizantes, ayudantes en la emulsificación, mejoradores de texturas y otros, siendo sus propiedades funcionales determinantes en la calidad del producto final. Los almidones nativos tienen características muy específicas y se comportan de manera diferencial en cuanto a sus propiedades funcionales, lo que depende de su fuente natural. Por tal motivo, el estudio de fuentes convencionales y no convencionales de almidones daría alternativas a las diferentes industrias (Alimentos, cosméticos, papel, textil y otras.) en la utilización de los almidones. Las fuentes principales de obtención de almidones son los cereales, raíces, tubérculos y leguminosas. Los almidones más utilizados son de maíz, papa, yuca y arroz, sin embargo, existe otras fuentes menos conocidas (Delgado & Santander, 2013).

En los alimentos, los almidones y sus derivados se utilizan como ingredientes, en pequeñas o en grandes cantidades, para mejorar el aspecto, la conservación o las propiedades. Debido a la relación entre estructura y funcionalidad, la química del almidón y las tecnologías modificadoras se han estudiado para obtener estructuras con funcionalidades específicas. A pesar de que el almidón forma parte de una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de algunos productos industrializados, la funcionalidad del almidón depende del peso molecular promedio de amilosa y amilopectina, así como de su organización molecular en la parte interna del gránulo. La elección del almidón correcto en las aplicaciones alimentarias debe tener en cuenta aspectos como la tecnología del proceso alimentario, las características funcionales, sensoriales y reológicas, y los ingredientes. Los almidones que son nativos y también almidones modificados se usan con frecuencia en alimentos debido a sus propiedades espesantes y gelificantes. Típicamente, el almidón nativo no se puede usar a una velocidad superior al 6% en sólidos porque imparte una viscosidad tan alta. Sin embargo, para varias aplicaciones, los almidones nativos pueden mostrar propiedades indeseables bajo ciertas condiciones de proceso tales como temperatura, pH o presión. Estas propiedades pueden limitar sus aplicaciones industriales, debido a su baja resistencia a altas velocidades de cizallamiento, descomposición térmica, alta retrogradación y sinéresis. La mejora de estas propiedades del almidón se puede lograr mediante modificaciones de la estructura del almidón, utilizando métodos químicos, físicos y enzimáticos (Andrea C. Bertolini, 2010, p. 8).

Además de ser el hidrato de carbono de reserva predominante y la principal fuente de energía en la alimentación del hombre, el almidón también es muy importante en muchos sectores industriales como materia prima en la fabricación de alimentos, medicamentos cosméticos y más recientemente, en el desarrollo de biomateriales. El almidón puede usarse en su forma natural o mediante un procesamiento adicional, que da como resultado productos tales como almidones modificados, jarabes de glucosa, maltosa o fructosa y maltodextrinas. Como biomaterial, se utiliza para obtener biofilms de extrusión para termo formadoras con diversas aplicaciones (Godbillot et al., 2006; Rocha, Demiate, Franco, 2008). Por otro lado, los almidones nativos tienen propiedades fisicoquímicas únicas y características funcionales, estas propiedades incluyen la temperatura de gelatinización, retrogradación, solubilidad, poder de hinchamiento, sinéresis y el comportamiento reológico de las pastas y geles. Estas propiedades están influenciadas por las características estructurales, la forma y la fuente botánica del almidón (Hermansson, Svegmarm, 1996). (Yamani et al., 2013. p. 454).

2.2.9. Características de la calidad del almidón

Mauricio & Pinto (2012) dan a conocer que una de las características del almidón es que esta presenta un alto contenido de viscosidad y esto se puede observar en la pasta del almidón, también tiene una baja solubilidad, alta capacidad de retención de agua y un alto poder de hinchamiento, el tamaño va en aumento cuando una suspensión acuosa de almidón se calienta, y se puede observar que los gránulos de almidón se hinchan por una acción absorción progresiva e irreversible de agua. La determinación de estos índices se mide aprovechando la capacidad de absorción del agua del gránulo de almidón y la exudación de fracciones de almidón a medida que se aumenta la temperatura de las suspensiones de almidón (p. 10).

Las características funcionales de los almidones, comúnmente dependen de la reacción de la amilosa y la amilopectina. En los diversos cultivos amiláceos se notan estas relaciones constantes, si bien cambia de una variedad a otra dentro de la especie y también dentro de las plantas de la misma variedad. Las características funcionales de los almidones se ven influenciadas por factores genéticos (diferencias variedades) que son propios de cada cultivo, factores como la edad de la planta, época de cosecha, época de siembra, fertilidad del suelo, las precipitaciones y entre otras particularidades (Mauricio & Pinto, 2012, p. 10).

Por otra parte, los almidones se diferencian entre sí por sus diferentes tamaños que cada uno posee, la apariencia microscópica que presentan y las características fisicoquímica

que poseen , ya que existen almidones que están constituidos mayormente de amilosa y el resto de amilopectina, los que poseen una mayor cantidad de amilosa, son importantes para el uso de ámbito de fibras y plásticos en cambio los que poseen más amilopectina tiene una amplia aplicación en el área del campo alimenticio (Laos & Rivera, 2004, p. 7).

Las afirmaciones anteriores muestran las características de los almidones y cuáles son los componentes primordiales de los diversos comportamientos de los almidones. Por otro lado recalando la importancia de la amilosa y la amilopectina, Bernabé Meza et al (2017) afirma que “Los factores que influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos son la amilosa y la amilopectina, todas estas propiedades se pueden notar en la capacidad de hidratación y la gelatinización” (p. 7).

Las características principales de los almidones derivan de las propiedades físicas y químicas de los gránulos del almidón. Lajol y wenzel mencionan que las características de viscosidad, claridad, solubilidad, la capacidad de retención de agua, hinchamiento, gelatinización y la retrogradación de los almidones son importantes en la industria de alimentaria. Los almidones granulares o nativos muestran propiedades funcionales que en algunos casos son necesarios en una aplicación particular (Romer& Holguin, 2009, p. 37).

2.2.9.1. Claridad y opacidad

La claridad del almidón nos indica el grado de transparencia de las pastas y está muy relacionada con el estado de dispersión de los solutos y con la tendencia a la retrogradación de los almidones. El valor de la claridad en pastas de almidón varía entre 12,5-95%, en cuanto a la pasta del almidón de papa considerándolo como tubérculo, se le considera como clara o transparente (Romer & Holguin, 2009, p. 37).

2.2.9.2. Gelatinización

Una de las cualidades de los almidones nativos es que estas son solubles en agua por debajo de su temperatura de gelatinización. Cuando los gránulos de almidón pasan por un proceso de calentamiento gradualmente en agua que es aproximadamente (entre 55-70°C), este logra alcanzar un punto donde comienzan a hincharse irreversiblemente; esta habilidad de los gránulos de almidón para hincharse y subsecuentemente pueden romperse, todo este proceso es de gran importancia tecnológica ya que suceden cambios en la viscosidad del almidón. Por otro lado los rangos reportados en la literatura de la temperatura de

gelatinización para almidón nativo de papa están entre 56 - 67°C, se observa que, a mayor cantidad de amilosa, temperatura de gelatinización debe de ser mayor (Romer & Holguin, 2009, p. 38).

2.2.9.3. Viscosidad

La viscosidad forma parte de las características influyentes en la calidad del almidón. (Romer & Holguin, 2009) “La viscosidad de la pasta de almidón al ser sometido a un calentamiento indirecto se le considera como una medida de fuerza de torsión sobre una aguja rotante con una temperatura y una velocidad constante” (p. 39).

También Romer & Holguin, menciona “Cada producto que es fuente de almidón posee diversos comportamientos y diversas viscosidades por ejemplo el almidón de papa su pico de viscosidad esta entre 800-2000 centipoise (cP)” (p. 39).

2.2.10. Métodos de extracción de almidón

Como ya se mencionó anteriormente, los almidones son los hidratos de carbono que cumplen una función importante en el consumo humano y también en sus diversos usos y aplicaciones en la industria y el comercio. Los almidones de cereales, generalmente requieren procesos industriales muy tecnificados, en cambio por otro lado los almidones de raíces y tubérculos son más fáciles de obtener lo cual beneficiaría su trabajo en el medio rural ya que para su obtención solo se requiere de molienda, tamizado, división de agua y almidón, sedimentación y finalmente se procede al secado (Alarcón & Dufour, 1998, p. 9).

El autor Pinto (2012) Indica que “los almidones de raíces y tubérculos son más fáciles para extraer a diferencia de los almidones de cereales que demandan procesos industrializados más tecnificados” (p.5).

Los autores como Alarcón & Dufour (1998, p. 9). Describen el proceso general de extracción de almidón de este tubérculo que es la yuca, donde consiste en realizar el lavado de las yucas, luego este pasa por un proceso de rallado, tamizado, sedimentación, fermentación y finalmente el secado, en este proceso dado por los autores ya mencionados, trabajan con almidones fermentados este proceso trae ciertos beneficios en el almidón como la mejora del sabor característico para su postrero uso y aplicación en la industria panadera.

Laos & Rivera (2004, p. 23) Describen algunos procesos de extracción de almidón que consiste en: eliminar la tierra, piedras y otras impurezas que puedan presentar los tubérculos, se realiza el lavado de estos tubérculos, selección, licuado con la finalidad de

reducir las partículas, el tamizado se realiza con un tamiz de 75 micras, adición de agua destilada, sedimentación de la suspensión, el procesos de tamizado o filtrado se realiza dos veces , luego este se deja reposar aproximadamente 10 – 8 horas, luego en seguida este almidón previamente lavado se tamiza por segunda vez para eliminar los restos de fibra, se filtra en un tamiz N° 100 micras, se deja sedimentar aproximadamente 3 – 4 horas para eliminar el sobrenadante y luego se lleva a una estufa con corriente de aire a 30°C por 2 días. Luego se tamiza a través de una malla de 60 mesh, en seguida este se homogeniza y finalmente se empaca.

Por otro lado, Hernández Medina et al. (2008, p. 719). Describen de la siguiente manera del proceso de extracción y obtención de almidón, donde trabajaron con rizomas de makal, camote, yuca y sagú frescos donde estos primero fueron pelados y cortados en cubos de aproximadamente 3 cm por cada lado luego fueron remojados por 30 minutos en seguida fueron trasladados en un procesador de alimentos (Moulinex) durante 2 minutos con la finalidad de reducir el tamaño de la masa. La masa con apariencia de partículas más finas pasaron a unos recipientes que contenían una solución bisulfito de sodio con una concentración de 1500 ppm de SO₂, en una relación 1:1 (v/v). La solución de almidón se somete a filtros de coladores de tela de plástico con una (malla 80 mesh), para eliminar la fibra, y el filtrado se deja sedimentar a 4°C aproximadamente por 4 horas. Transcurrido ese tiempo, la mayor parte del líquido sobrenadante se elimina por sifoneo y la solución de almidón se lava tres veces con agua destilada, luego se centrifuga en el último lavado a 2500 rpm, durante 12 min, con la finalidad de recuperar todo el almidón posible. Posteriormente, se seca en una estufa convencional a 55°C, durante 24 horas, luego este se somete al procesos de molturación (malla 100), hasta obtener un polvo fino el cual se almacena en frascos de plástico para su posterior uso.

Aparte de ello aquí se describe el siguiente proceso de extracción y obtención de almidón según Cobana & Antezana (2007, p. 79) en el proceso, los autores se guiaron de experimentos que se realizaron con la extracción y obtención de harina de yuca donde realizaron algunas modificaciones en el proceso como la adición de la etapa de pre molienda en humedad donde trabajaron con las siguientes técnicas: técnica 1: lavado y descascarillado, rallado, deshidratado, molido y tamizado. Técnica 2: lavado y descascarillado, rallado, pre-deshidratado, pre-molido, molido y tamizado. La etapa de rallado cumple la finalidad desmenuzar la pulpa y romper las paredes celulares para facilitar la liberación de los gránulos de almidón. El pre-deshidratado lo realizaron a una temperatura de 45 °C en los tres niveles

de estudio de 20%, 30% y 45% de humedad residual, con la finalidad de continuar la próxima etapa de pre-molienda con humedad intermedia y obtener una separación inicial de la fibra. La pre-molienda consiste en someter el producto húmedo a una fuerza de compresión con la finalidad de facilitar la separación inicial de la fibra y los gránulos de almidón, esta etapa lo realizaron en un molino de bolas durante 10 min.

2.3. Propiedades morfológicas del almidón

2.3.1. Morfología y tamaño de los granulo de almidón

Según Méndez et al. (2009) da a conocer que los gránulos de almidón pueden reconocerse por su forma, tamaño, posición del hilio, punto original a partir del cual ocurre el crecimiento del gránulo a la temperatura de gelatinización y degradación al cual logran llegar. Los almidones de tubérculos son generalmente voluminosos y helicoidales con hilio excéntrico algunos de ellos son esféricos o semiesféricos truncados o poliédricos como los de sorgo, avena y tapioca o polimórficos como los de los cereales. **Se pueden observar algunos ejemplos en la tabla 8 y en la Figura 4.**

Por otro lado Chavez & Espejo (2010) afirma que “La morfología de los gránulos individuales de almidón varía con la fuente, ya sea cereal, legumbre, raíz o tubérculo. El tamaño varía desde 2 a 10 μ m y presentan la propiedad de birrefringencia cuando se ven bajo luz polarizada” (p.14). además de esto (Yamani, Sanabria, & Filho, 2013). afirma que la forma y la medida de los gránulos de almidón dependen de la bioquímica de los cloroplastos y amiloplastos, así también las propiedades fisicoquímicas y propiedades térmicas dependen de la fisiología de las plantas, el origen de las plantas también el ambiente en el que fueron cultivadas, la temperatura al cual están sometidas, el almacenamiento y las prácticas culturales (p. 454).

Según Tomas Tovar Benitez (2008) afirma que se pueden encontrar gránulos con forma ovalada, redonda, esférica, lenticular, poligonal e incluso formas irregulares. Su tamaño es de aproximadamente 1-100 μ m de diámetro. Los gránulos a partir de 1-20 μ m se consideran pequeños y de 20-100 μ m como largos (p. 29).

También por otra parte Tomas Tovar Benitez, (2008) contribuye afirmando que las distribuciones de los gránulos usualmente se clasifican como unimodal y bimodal. Una distribución de tamaño bimodal se caracteriza por poseer gránulos largos y pequeños en una misma fuente botánica, mientras que la clasificación unimodal solamente posee un solo

tamaño. Esta distribución ha hecho que se clasifiquen los gránulos de almidón como tipo A, que usualmente son mayores a 10µm de diámetro, con formas esféricas o poligonales. (p.29).

Por otro lado Hernández Medina et al. (2008, p. 721), en la tabla 8 se da a conocer algunas formas y tamaños de ciertos almidones provenientes de diferentes tubérculos que pueden observarse en seguida.

Tabla 8

Tamaño y forma de los gránulos de almidón de makal, camote, yuca y sagú, comparados con almidones de otros tubérculos.

Almidones	Promedio (µm)	Intervalo (µm)	Forma
Makal	12.40	8-20	Esférica
Camote	12.41	8-28	Esférica
Yuca	16.50	8-22	Esférica, truncada
Sagu	10.64	4-20	Poligonal
Maíz	15	3-26	Poligonal
Papa	33	5-100	Oval, esférica

Nota: Información recopilada de: Hernández Medina et al., (2008, p. 721).

2.3.2. Aspecto microscópico del gránulo de almidón

Según Tomas Tovar Benitez (2008) considera que una gran variedad de microscopios y técnicas de imágenes han sido usados para estudiar y documentar la microestructura de los gránulos de almidón en cereales y los cambios durante su procesamiento. Mediante este tipo de técnicas se ha observado que las proteínas forman una matriz que envuelve a los almidones, así como también la formación de aglomerados proteicos irregulares que se encuentran intercalados en los gránulos de almidón, en algunas ocasiones se pueden observar estructuras filamentosas características de las estructuras fibrosas (p. 27).

Por otro lado Méndez et al. (2009) define que “Los gránulos de almidón se encuentran libres de una matriz de proteína, la superficie es relativamente suave sin presentar presencia de poros o fracturas. Bajo luz polarizada, los gránulos de almidón presentan la apariencia de esfero cristales”. (p.117). **En la Figura 4 se puede observar unas muestras de tamaños y formas de dos variedades de gránulos de almidón de la mandioquinha-salsa.**

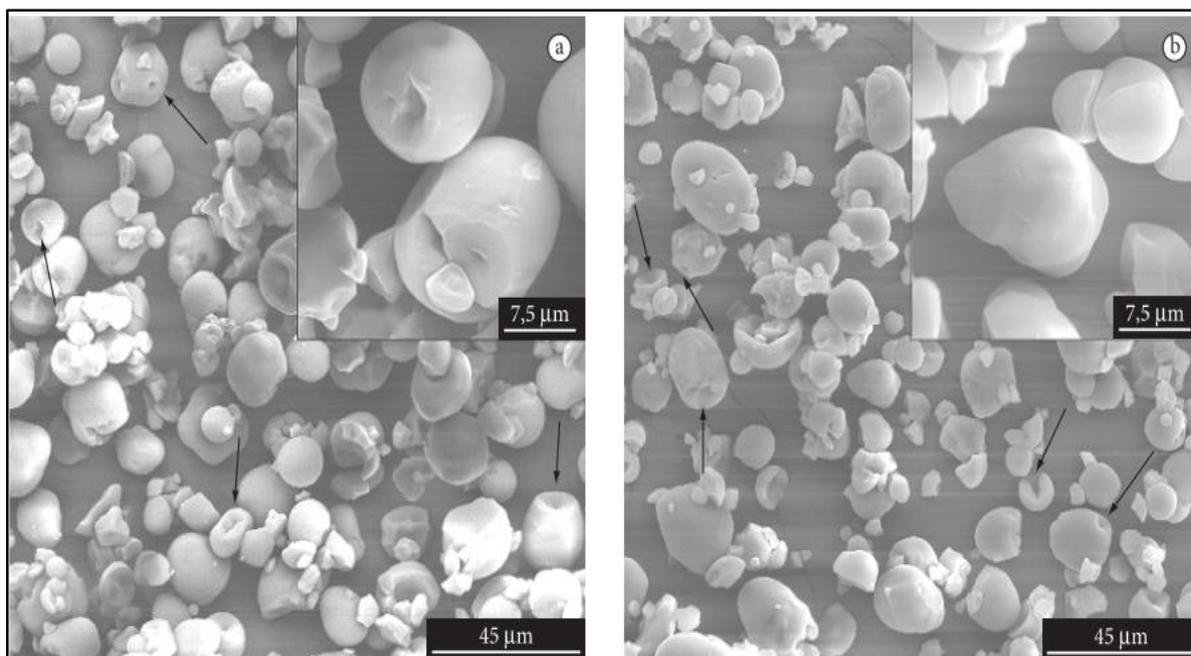


Figura 4. Microfotografías de dos variedades de gránulos de Mandioquinha - salsa observados en microscopio electrónico de barrido Amarela de Carandaí (AC) y Amarela de Senador Amaral (ASA), (aumentado: 500X; en el destaque 3000X). Fuente: Rocha, Demiate, & Franco, (2008, p. 624).

2.3.3. Microscopia electronica de barrido

Por su parte Tomas Tovar Benitez (2008) “menciona que existen diferentes tipos de microscopia como la microscopia electrónica de transmisión (TEM), la microscopia electrónica de barrido ambiental (ESEM) y la microscopia electrónica de barrido (SEM)”. (p. 27). Estas dos últimas, son las más utilizadas ya que nos permiten una mayor apreciación de la superficie del gránulo y su morfología en general, la cual está relacionada directamente a la fuente botánica a partir de la cual son aislados los almidones.

La orientación de los cristalitos en el gránulo de almidón parece ser paralela al radio del granulo. Se cree que esta estructura es la responsable de la birrefringencia del grano de almidón cuando se observa bajo luz polarizada. El almidón, en su forma granular natural posee una alta densidad, y muestra un alto grado de empaquetamiento dentro del granulo; es

así que el granulo del almidón puede soportar cierto esfuerzo mecánico y es prácticamente insoluble en agua fría (Laos & Rivera, 2004).

También Laos & Rivera (2004) recalca que los gránulos de almidón no dañados son insolubles en agua fría, debido a la fuerza colectiva de los puentes de hidrogeno, que mantienen unidas las cadenas, pero, a medida que la temperatura se eleva a este proceso se le denomina temperatura inicial de gelatinización y se ve que comienza a absorber agua.

2.4. Propiedades térmicas

2.4.1. Termogravimetría y termogravimetría derivada (TG/DTG)

Las propiedades térmicas generalmente se refieren al estudio de las medidas de calor de diferentes compuestos alimenticios. Según Victoria Carolina Coelo Ortiz & Barcia, (2012). Define que “debido a los procesos físicoquímicos y biológicos generan o absorben calor la medida del calor puede proporcionar información sobre la forma como se desarrollan ellos mismos, informa si el proceso es exotérmico (libera calor) o endotérmico (absorbe calor) y su duración” (p. 9).

Según Dumar Quintero Castaño et al., (2012) definen que el análisis termogravimétrico (TGA) permite medir la cantidad y la velocidad de cambio de la masa de un material. Como función de la temperatura o tiempo en una atmosfera controlada, dichas medidas son utilizadas principalmente para determinar la composición de un material y para predecir su estabilidad térmica a temperaturas hasta 1000°C; para el caso de harinas también puede ser útil como una técnica confiable y práctico para la determinación del porcentaje de almidón.

Por otro lado, “La termogravimetría indica cuando una muestra pierde o gana masa, mientras que el DSC permite observar si una reacción o cambio físico es endotérmica o exotérmico, y a menudo es capaz de medir la variación de calor” (Victoria Carolina Coelo Ortiz & Barcia, 2012, p. 10).

2.4.2. Calorimetría diferencial de barrido y exploratoria (DSC)

El sistema de calorimetría diferencial de barrido es una técnica termoanalítica que se usa para monitorear las modificaciones en la energía térmica asociados con las transformaciones físicas y químicas de los materiales como función de la temperatura. Por

ejemplo, de una transición de estructura cristalina a una estructura amorfa. En ambas transformaciones el calor es liberado o absorbido. En tecnología de alimentos existen numerosos ejemplos en los cuales algunas sustancias experimentan cambios físicos y/o químicos cuando se les suministra o extrae calor como: cambios de fase en agua, grasas y lípidos, desnaturalización de proteínas y gelatinización de almidones (Rodríguez, Martín, & Cruz, 2001).

por otra parte Victoria Carolina Coelo Ortiz & Barcia, (2012) contribuye afirmando que la calorimetría diferencial de barrido consiste en evaluar las transformaciones físicas y químicas del almidón, este actúa en función a la cantidad de calor que es suministrada a la materia. Esto se presenta debido a un diferencial de entalpía que existe entre una capsula que contiene la muestra estudiada y otra capsula vacía que sirve de referencia ver Figura 4.

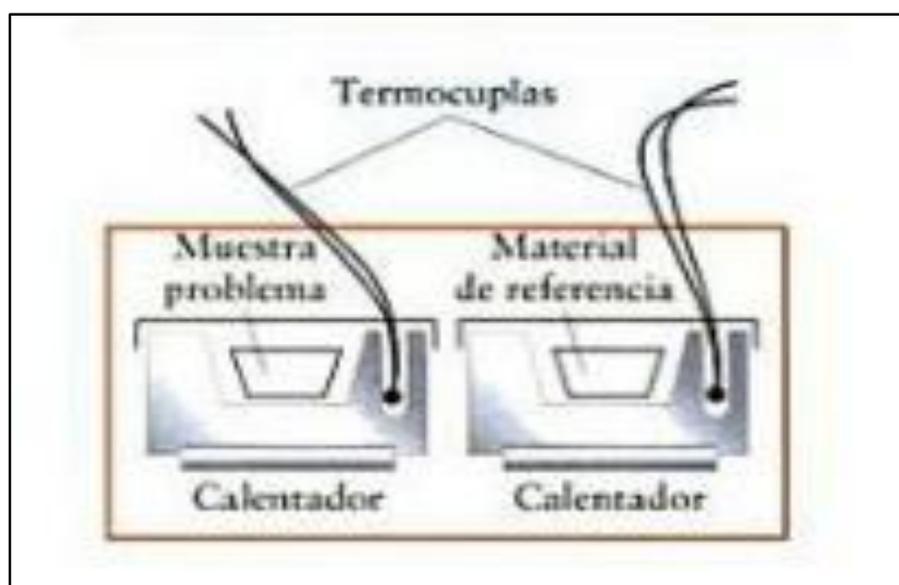


Figura 5. Equipo para análisis diferencial de barrido (DSC). Fuente: (Victoria Carolina Coelo Ortiz & Barcia, 2012).

Según (Rodríguez et al., 2001) da a conocer que los termo gramas obtenidos de almidón usando la técnica de DSC permiten identificar las transposiciones de fases del sistema, y estos se pueden explicar mediante la teoría de equilibrio de fases en sistemas poliméricos. En equilibrio termodinámico entre la fase líquida y el polímero cristalino, el potencial químico del polímero en las dos fases debe ser igual $\mu_{\mu} = \mu_{\mu}^0$. La temperatura a la cual las dos fases en el polímero coexisten se denomina la temperatura de fusión (*melting temperature*) T_m la cual depende de la composición de la fase líquida. Si la solución acuosa

no está presente entonces $\mu_\mu = \mu_\mu^0$ donde μ_μ^0 es el potencial químico de la fase cristalina pura. A la temperatura de fusión T_m^0 del polímero puro $\mu_\mu^0 = \mu_\mu^c$. (p.63).

2.4.3. Difracción rayos-X (XRD)

Esta técnica aplicada al estudio de materiales cristalinos, permite obtener información sobre las fases presentes, orientaciones cristalinas preferenciales, defectos cristalográficos, tensiones residuales. La forma en que están empaquetadas las dobles hélices en la molécula de amilopectina y el contenido de agua ya que estos son parámetros determinantes del tipo de polimorfismo (Dumar Quintero Castaño et al., 2012).

Sorprendentemente, se sabe poco de la disposición de las moléculas de amilosa y amilopectina dentro del granulo de almidón. Al microscopio de polarización se observa el clásico esquema de la “cruz de malta”, característico de los materiales birrefringentes. Algún grado de orden en disposición de las moléculas de almidón en el granulo resulta evidente a través de la difracción de rayos X. se cree que estas estructuras se deben a la presencia de micro-cristalitos, formados principalmente por cadenas laterales cortas del componente de amilopectina. Un aspecto inesperado de la cristalinidad es que se debe más a la amilopectina ramificada que a la amilosa lineal, como parece indicar la observación de los almidones céreos, que carecen de amilosa, dan un esquema de difracción de rayos X muy similar al de un almidón normal (Laos & Rivera, 2004).

Los rayos X tienen longitudes de onda similares a las distancias interatómicas en los materiales cristalinos, por lo que podemos utilizar la difracción de rayos X como método para explorar la naturaleza de la estructura molecular. El ICMA, (2016) afirma que “la difracción de rayos X es el único método que permite, tras un procedimiento generalmente largo y complicado, determinar de modo exacto la estructura molecular de cualquier producto, ya sea un fármaco, compuesto inorgánico, mineral, proteína o incluso un virus” (p. 3).

Está bien establecido que los gránulos de almidón están compuestos por dos polisacáridos estructuralmente diferentes de α -D-glucosa: amilosa y amilopectina. A pesar de las dobles hélices de amilosa, la naturaleza semicristalina de los almidones está determinada por el componente amilopectina. Las cadenas unitarias lineales de amilopectina (~ 18-25 unidades) son relativamente cortas en comparación con las cadenas de amilosa, pero ambas pueden formar seis hélices dobles zurdas, que a su vez se asocian para formar laminillas cristalinas y semicristalinas (Andrea C. Bertolini, 2010, p.21).

Existe cierta controversia sobre cómo la amilosa y la amilopectina se empaquetan en gránulos de almidón. Biliaderis (1992) propuso la organización de los componentes del almidón con lípidos en el gránulo de almidón, mientras que la amilopectina, y tal vez la amilosa, se orientan radialmente hacia la superficie granular. En este modelo, la claridad del almidón se atribuye a cadenas cortas lineales presentadas en las moléculas de amilopectina (DP 14-20) y la disposición de estas cadenas es responsable de la estructura cristalina tridimensional. Las cualidades estructurales tridimensionales de los gránulos de almidón nativos se pueden mostrar en los patrones de difracción de rayos X, que se clasifican en tipo A o B (Imberty et al., 1987; Imberty y Perez, 1988). En el modelo de almidón A cristalino, la estructura se basa en dobles hélices de hebras paralelas en la celda unitaria, y produce un cristal monoclinico. El modelo de almidón B cristalino se produce mediante una disposición hexagonal de las hélices dobles (Imberty y Perez, 1988). Aunque la geometría de las dobles hélices es idéntica en las formas A y B, las dos estructuras difieren en el nivel del agua y en los arreglos cristalinos (Wu y Sarko, 1978a, b)(Andrea C. Bertolini, 2010, p.35).

En el almidón nativo, se considera que la amilopectina es predominantemente responsable posible para la cristalinidad del gránulo, que varía del 15-45% según el origen botánico. La cristalinidad también depende de la longitud de la cadena de amilopectina y la ramificación de la cadena (Zobel y Stephen, 1996). Las regiones cristalinas están formadas por capas de 120-400 nm de espesor, compuestas por laminillas cristalinas y semicristalinas, que forman el relleno de gránulos (francés, 1984 Donald et al., 1997). Se cree que las laminillas cristalinas están ordenadas en grupos de cadenas laterales de amilopectina de doble hélice y están intercaladas (alternas) con laminillas más amorfas que consisten en las regiones de ramificación de la amilopectina. Se supone que las laminillas cristalinas y amorfas de la amilopectina están organizadas en estructuras más grandes, más o menos esféricas, que se han denominado "bloques". Los diámetros del bloque se encuentran entre 20 y 500 nm, dependiendo de la fuente botánica del almidón y ubicación en el gránulo (Gallant, Bouchet y Baldwin, 1997) (Figura 3.1). Entender la estructura del almidón se considera esencial para obtener almidones modificados con propiedades funcionales objetivo El desarrollo de nuevos métodos de caracterización del almidón basado en la masa molar, el giro y el radio hidrodinámico, el grado de ramificación y la distribución de la longitud de la cadena pueden contribuir al conocimiento de su estructura y, en consecuencia, a sus propiedades funcionales (Andrea C. Bertolini, 2010, p.36).

“El grado final de cristalinidad en cualquier muestra de polímero depende de la capacidad de las cadenas para formar cristales, así como de la movilidad de las cadenas durante el proceso de cristalización” (Andrea C. Bertolini, 2010, p. 111).

2.4.4. Viscoamilografo/analizador de viscosidad (RVA)

El RVA es un equipo que cuantifica la viscosidad, es decir determina la resistencia al flujo de una pasta con base de almidón cuando es sometida a una tensión de desplazamiento constante, incorporando a su vez condiciones de tiempo y temperaturas específicas de acuerdo a la muestra. Este equipo sustituye al convencional amilo grafo branbender, el tiempo de cada prueba es de 12,3min. La prueba del RVA consiste en someter a la muestra al ciclo clásico de la cocción (pre calentamiento-calentamiento-reposo) donde la viscosidad que depende en gran medida del origen y las propiedades del almidón (Avila, 2002).

Para analizar la muestra se requiere tener una pasta formada de almidon y agua y este pasa por un proceso de enfriamiento/calentamiento. Pero también existen opciones de programar a otro tipo de proceso. Continuando con el tema, la pasta se recomienda calentar hasta 95°C, luego este se procede a enfriar a 50°C. Ambos equipos registran la viscosidad de la solución. Los gránulos de almidón presentes en el almidon comienzan a absorber agua al comienzo del ciclo a una determinada temperatura inicia la viscosidad de la pasta dependiendo del tipo de almidón y de donde se ha obtenido, Sin embargo, los gránulos de almidón también comienzan a romperse, por lo que una vez alcanzado un máximo de viscosidad esta tiende a disminuir su viscosidad. Cuando la pasta vuelve a enfriarse el almidón se reorganiza, y como consecuencia de este fenómeno llamado retrogradación, la viscosidad vuelve a incrementarse. Además, la temperatura de gelatinización también afecta a la expansión de las masas que se usan en la industria panadera o masa de bizcochos durante el horneado ya que se ve que la retrogradación es una de las causas principales del endurecimiento o envejecimiento del pan (Alberto Edel Leon & Rosell, 2007).

Además (Dumar Quintero Castaño et al., (2012) “al necesitarse temperaturas más altas y por ende también se necesita mayores tiempos para que se inicie el proceso de gelatinización de los almidones, mayor es el contenido de energía para que los gránulos de almidón se comiencen a hinchar” (p. 29) ver figura N° 6. Se ve claramente que entre más altos sean los valores de las variables tiempo (tVmax) y temperatura (TV-max) para llegar al pico máximo, se puede deducir que los almidones se demoran más en llegar al punto de viscosidad máxima, incidiendo directamente en la variable facilidad de cocción (FC) estimado como (tVmax – temp).

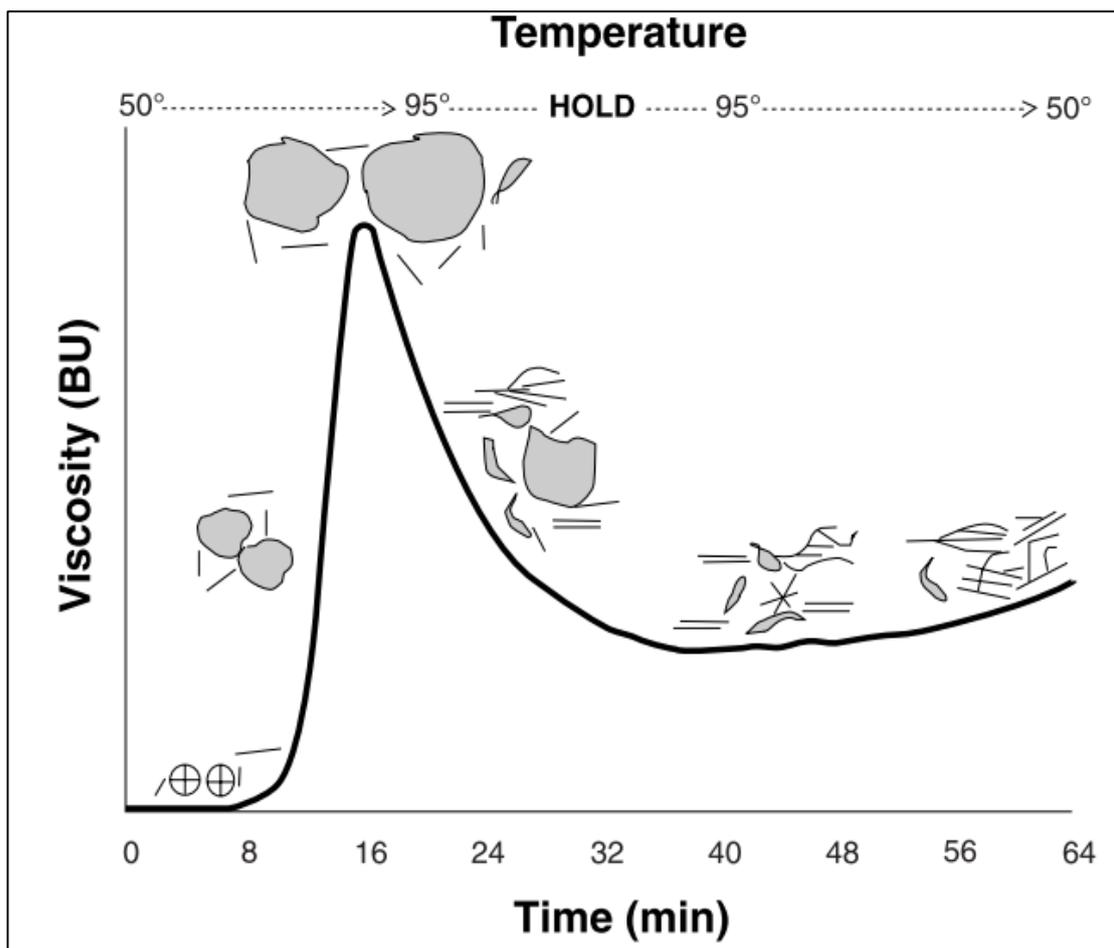


Figura 6. Cambios granulares en función a la viscosidad visto mediante un viscoamilografo. Fuente: (Thomas & Atwell, 1999, p. 20).

2.4.5. Propiedades de la pasta de almidón

La gelatinización puede ser sinónimo de formación de una pasta, aunque la gelatinización y la generación de la pasta pueden ser consideradas como acontecimientos secuenciales. El proceso de gelatinización conlleva una pérdida de la estructura cristalina ordenada de almidón, que se observa como la desaparición de la formación de la cruz de

malta cuando el almidón que se puede observar bajo una luz polarizada con un microscopio electrónico. Bien como proceso separado o como continuación de la gelatinización, se produce la formación de una pasta con el calentamiento continuado de los granos de almidón gelatinizado (Christian & Vaclavik, 2002).

El poder de hinchamiento se relaciona con la capacidad de absorción de agua de cada almidón. Por ejemplo Méndez et al., (2009) “los almidones nativos son insolubles en agua por debajo de su temperatura de gelatinización, cuando estos gránulos son calentados progresivamente en agua a temperaturas más altas, se alcanza un punto donde comienza a hincharse irreversiblemente” (p. 118) por ende se puede deducir que al hincharse estos gránulos de almidón aumentan la viscosidad de la pasta, permitiendo saber el poder de espesamiento de este compuesto (Méndez et al., 2009).

Tabla 9

Hinchamiento y solubilidad de algunos almidones a 60°C y 90°C.

Tipo	Hinchamiento		Solubilidad	
	60°C	90°C	60°C	90°C
Maíz	2.46	9.23	0.31	1.65
Trigo	2.03	8.36	2.27	3.41
Haba	3.41	7.90	2.94	4.18
Camote	2.30	26.10	0.38	3.20
Papa	8.18	58.09	2.37	25.61
Banana	2.51	31.60	0.77	18.77

Nota: Información obtenida de: Gisela del Carmen Hermosa Mendoza, (2013).

La gelatinización de almidón implica la fusión de gránulos en un medio acuoso bajo calentamiento. En el agua, la hinchazón de los gránulos aumenta con la temperatura y esto lleva a una transferencia de agua en la suspensión al agua asociada con componentes de almidón: amilosa y amilopectina. Cuando la temperatura del almidón alcanza los 60-70°C, los gránulos insolubles se rompen con la energía suministrada, resultando en una pérdida de organización molecular y, en consecuencia, pérdida de su cristalinidad. Este proceso conduce al aumento de la solubilidad y la solubilización del almidón, que es el resultado de cambios irreversibles como la interrupción de estructura granular y semicristalina, también vista como una pérdida de birrefringencia. Después del calentamiento seguido de la gelatinización, durante la fase de enfriamiento, el almidón se somete a la retrogradación en el que las cadenas de almidón tienden a reasociarse en una estructura ordenada. Le sigue otra subida en viscosidad, generalmente conocido como retroceso. El perfil de pegado del

almidón gelatinizado nos muestra un aumento de la viscosidad cuando está expuesto a los cambios de temperatura, evidencia de que esta muestra de almidón ya estaba gelatinizada. Se han atribuido diferencias en la hinchazón entre los almidones nativos para la interacción de factores tales como el tamaño del gránulo, la cristalinidad, la amilosa-lípido es un contenido complejo de interacción entre las cadenas de almidón en la amorfa región. Las propiedades fisicoquímicas de amilosa y amilopectina son bastante diversas y contribuyen de diferentes maneras a las propiedades de pegado del almidón. (Andrea C. Bertolini, 2010, p. 3).

2.5. Antecedentes

Se evaluaron el rendimiento, características y propiedades del almidón del melloco, oca, mashua, miso y zanahoria blanca que son buenas fuentes de almidón Fairlie, Morales, & Holle, (1999) en su experimento vieron resultados donde el rendimiento promedio de la extracción del almidón de oca, zanahoria blanca, miso, melloco y mashua fue de 14,18; 13,52; 10,42; 5,17 y 2,26%. En cuanto a la apariencia microscópica y el tamaño del gránulo, los almidones de oca y melloco poseen gránulos ovoidales, mientras que los de mashua, miso y zanahoria son esféricos. Los gránulos de almidón de oca son mayores al tamaño que los de melloco, mashua y miso. En su forma y tamaño, son semejantes a los de papa (forma ovoidal, tamaño 30,9x23,7µm). El valor 29,49 micras para el eje longitudinal del almidón de oca, es semejante al valor encontrado por Santacruz (1995) para oxalis tuberosa. En cuanto a las propiedades de la pasta de almidón, indican que los almidones de zanahoria blanca y oca tienen una temperatura de gelatinización de 58°C y 60°C, respectivamente. Estos valores son semejantes a los de achira y yuca, pero más bajos que los de mashua, melloco, miso y trigo, lo cual indica que los almidones de oca y zanahoria blanca necesitan menos cantidad de calor para alcanzar su gelatinización.

Los autores tales como C., Castañeda, & Ortiz, (2013) Realizaron procedimientos de análisis fisicoquímico, estructural y térmico, se evaluaron almidones de las variedades de papa Parda pastusa (P), Tuquerreña (T), ICA Huila (IH), ICA Purpacé, ICA Única (IU), Criolla Latina (C) y R-12 (R), cultivadas en el departamento de Boyacá, Colombia donde en cada una de ellas se determinaron los contenidos de ceniza y proteína siguiendo métodos de la AOAC, la humedad lo realizaron utilizando un analizador, estructura cristalina lo realizaron mediante el uso de difracción de rayos-X (DRX), y las propiedades térmicas lo determinaron utilizando la calorimetría diferencial de barrido (DSC). En los resultados se

encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los contenidos de humedad en almidones. El almidón de la variedad IU presentó el mayor contenido de ceniza y el de la variedad T presentó el menor contenido de cenizas y los difractogramas mostraron para todas las variedades patrones de cristalinidad tipo B; no obstante, el almidón de las variedades IP, P, IU, T y IH presentaron un patrón más cristalino que el de las variedades C y R. Los termogramas de los almidones mostraron el primer y segundo pico endotérmico, entre 123 y 163 J/g y entre 141 y 213.3J/g, respectivamente, para las variedades IP, P, IU, T y IH; mientras que para los almidones de las variedades C y R estos valores fueron entre 68 y 77J/g y entre 334 y 358 J/g, respectivamente.

Autores tales como Dumar Quintero Castaño, Carlos Lucas Aguirre, & Natalia Álzate Carvajal, (2012) trabajaron realizando análisis fisicoquímico, estructural y térmico, evaluaron almidones de las variedades de papa Parda Pastusa (P), Tuquerreña (T), ICA Huila (IH), ICA Puracé (IP), ICA Única (IU), Criolla Latina (C) y R-12 (R), cultivadas en el departamento de Boyacá, Colombia. En cada una de ellas se determinaron los contenidos de ceniza y proteína siguiendo métodos de la AOAC, humedad utilizando un analizador, estructura cristalina mediante difracción de rayos-X (DRX) y propiedades térmicas utilizando calorimetría diferencial de barrido (DSC). Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los contenidos de humedad en almidones. El almidón de la variedad IU presentó el mayor contenido de ceniza y el de la variedad T, el menor. Los difractogramas mostraron para todas las variedades patrones de cristalinidad tipo B; no obstante el almidón de las variedades IP, P, IU, T y IH presentó un patrón más cristalino que el de las variedades C y R. Los termogramas de los almidones mostraron el primer y segundo pico endotérmico, entre 123 y 163 J/g y entre 141 y 213.3 J/g, respectivamente, para las variedades IP, P, IU, T y IH; mientras que para los almidones de las variedades C y R estos valores fueron entre 68 y 77 J/g y entre 334 y 358 J/g, respectivamente.

Experimentos realizados por Rached, De Vizcarrondo, Rincón, & Padilla, (2006), evaluaron las características fisicoquímicas y propiedades reológicas de los almidones extraídos de mapuey (variedades blanco y morado) las extracciones de harinas y almidones, lo realizaron por secado y extracción acuosa; las propiedades morfológicas de los almidones lo determinaron por microscopia electrónica de barrido (SEM), la difracción por rayos X fueron analizados mediante un difractómetro de rayos-X, modelo D8 Advance y finalmente determinaron el poder de hinchamiento, solubilidad y absorción de agua. El resultado final en cuanto a las propiedades morfológicas del almidón de mapuey blanco mostraron forma

irregular, algunos ovalados y alargados, con extremo truncado y superficies lisas, mientras que los granulosa de almidón del mapuey morado mostraron formas más alargada que la variedad blanca, algunos con forma de pera y otros con un extremo truncado; con respecto al diámetro de los gránulos de almidón, el mapuey blanco presentó un diámetro promedio máximo y mínimo, con sus desviaciones estándar de $34,15 \pm 7,97 - 21,39 \pm 4,00$ ($n = 51$) y el mapuey morado presentó $30,33 \pm 9,16 - 16,67 \pm 3,27$ ($n = 36$); resultando los gránulos de almidón de mapuey blanco de mayor tamaño que el morado; en cuanto a la difracción de rayos-X, el mapuey blanco se caracterizó por cinco picos de fuerte intensidad para los ángulos 2Θ : $17,5^\circ$, $20,1^\circ$, $22,6^\circ$, $26,1^\circ$ y $28,1^\circ$, con respecto al mapuey morado, el patrón de difracción se caracterizó también por cinco picos de fuerte intensidad para los ángulos 2Θ : $17,4^\circ$, $20,2^\circ$, $23,2^\circ$, $26,1^\circ$ y $28,3^\circ$, siendo estos resultados muy similares a los presentados por las dos variedades de mapuey. La máxima viscosidad (B) fue observada en el almidón de mapuey blanco a 88°C y 7:50 min; mientras que en el mapuey morado fue a 9°C y 8:20 min; lo que hace suponer que la suspensión de almidón de mapuey morado no es de muy fácil cocción y que los gránulos de la suspensión de almidón de mapuey blanco, tienen mayor capacidad de hinchamiento, lo cual se corresponde con la mayor capacidad de absorción de agua obtenida y por ende una mayor disrupción granular, produciéndose más componentes lixiviados hacia el medio circundante y una mayor viscosidad en la pasta formada.

También por otro lado Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, (2008) sustrajeron almidón y caracterizaron funcionalmente los almidones de makal, camote, yuca y sagú, provenientes de Yucatán, México, donde la forma y tamaño de los gránulos lo determinaron mediante observación microscópica directa, usando el microscopio óptico Leica, la temperatura de gelatinización lo determinaron mediante calorimetría diferencial de barrido (CDB), utilizando un equipo DSC 7 Perkin Elmer, a una velocidad de calentamiento de $10^\circ\text{C}/\text{minuto}$, desde 30 a 120°C . La Temperatura Inicial (T_i), Temperatura Pico (T_p), Temperatura Final (T_f) y la entalpía de gelatinización (ΔH) se obtuvieron del termograma. Los resultados finales mostraron que los almidones de makal y camote presentaron forma esférica, similares a los almidones de papa, que tienen forma oval a esférica, el almidón de yuca esférica truncada, el almidón de sagú presentó forma poligonal, el tamaño de los gránulos fue homogéneo, con valores promedio de $12,40\ \mu\text{m}$ para camote $16,5\ \mu\text{m}$, para la yuca $10,64\ \mu\text{m}$, la temperatura y la entalpía de gelatinización de los almidones evaluados mostraron diferencia estadística de ($p < 0,05$). Los gránulos de almidón de makal y sagú presentaron la mayor temperatura de gelatinización ($T_p = 78,4$ y

74,9 °C, respectivamente), comparados con los otros dos almidones evaluados, con $T_p = 61,3$ °C para el camote y $T_p = 65,2$ °C para la yuca. En cuanto a las entalpías de gelatinización (ΔH), se observó que el valor obtenido para el almidón de makal fue de $14,9 \text{ J.g}^{-1}$, para el camote de $9,2 \text{ J.g}^{-1}$, para la yuca de $10,0 \text{ J.g}^{-1}$ y para el sagú de $12,5 \text{ J.g}^{-1}$; en los patrones de absorción de agua e hinchamiento de los almidones se pudo apreciar que solamente los gránulos del almidón de makal se resisten al hinchamiento a temperaturas menores de 70 °C esto es debido a su alta temperatura de gelatinización (72,5 °C), aunque entre los 70 y 90 °C, los gránulos de todos los almidones se hinchan gradualmente a medida que se aumenta la temperatura. Con respecto al almidón de sagú, éste presentó un comportamiento más semejante al de maíz, ya que el incremento se presentó a partir de los 60 °C. Por otro lado, el almidón de yuca fue el que presentó mayor capacidad de absorción de agua ($27,18 \text{ g agua g}^{-1} \text{ almidón}$) a 90 °C.

En otras investigaciones realizaron la comparación de las propiedades de tres almidones de maca (amarillo, morado y negro) con almidones comerciales de maíz, yuca y papa realizados por Zhang, Li, Wang, Yao, & Zhu, (2017) donde los tamaños de los gránulos de almidón oscilaron entre 9.0 y $9.6 \mu\text{m}$, y los gránulos presentaron formas irregularmente ovales. Todos los almidones de maca presentaban patrones de difracción de rayos X de tipo B, con un grado relativo de cristalinidad que oscilaba entre 22.2 y 24.3%. Los contenidos aparentes de amilosa oscilaron entre 21.0 y 21.3%. Las temperaturas de gelatinización de inicio variaron de 47.1 a 47.5 °C como se indica mediante calorimetría de barrido diferencial. Se observaron diferencias significativas en las propiedades de pegado y los parámetros de textura entre todos los almidones estudiados. Estas características sugieren la utilidad del almidón de maca nativo en productos sometidos a bajas temperaturas durante el procesamiento de alimentos y otras aplicaciones industriales.

Por otro lado Laos & Rivera, (2004) realizaron la “Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus tuberosus*) para su aplicación tecnológica”. En la presente investigación trabajaron con la finalidad de aislar el almidón de los tres tubérculos siendo el rendimiento de 12.85%, 5.05% y 2.20 % para la oca, olluco y mashua respectivamente; a los que se efectuó análisis químico proximal no encontrándose diferencias significativas entre ellos. En cuanto a las características morfológicas, mediante el empleo de un microscopio Carl Zeiss, se encontró que los gránulos de almidón tenían la forma elíptica, triangular y globular con un tamaño promedio de 30, 15 y 10 micras para la oca, olluco y mashua respectivamente.

Con respecto al carácter iónico todos mostraron un comportamiento catiónico similar. Se encontró que la solubilidad de los gránulos de los almidones a 60 °C fue de 6.97% para la oca, 2.75% para el olluco y 2.27% para la mashua; mientras que el poder de hinchamiento varió entre 11.85, 8.36% y 4.51% para cada uno de ellos. La viscosidad determinada mediante un viscosímetro de Brookfield a 60 °C, fue de 504, 392 y 340 centipoise para la oca, olluco y mashua respectivamente.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos (CITAL) de la escuela profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, de la Universidad Peruana Unión (UPeU) sede Juliaca, donde la ubicación de esta es:

Lugar: Chullunquiari
Provincia: Juliaca
Departamento: Puno
Temperatura: 5-18°C
Altitud: 3824 m.s.n.m.
Humedad relativa: 13-40%

Los análisis de morfología, reológicas y análisis de las propiedades térmicas se realizaron en el laboratorio de Tecnología de Cereales del departamento de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Estadual de Ponta Grossa, PR, Brasil.

3.2. Materia prima e insumos

Como materia prima para la extracción y caracterización del almidón se utilizaron las ocas de la variedad Kellu Kamusa que fueron adquiridas del mercado Santa Bárbara de la ciudad de Juliaca.

3.3. Materiales y Metodología

3.3.1. Materiales

- Tamices: Para el tamizado del almidón, se utilizaron tamices de la marca GRAN TEST, de 250 y 180 micrómetros de abertura. de serie: 24555 y 24936.
- Bandejas: Las bandejas de aluminio.
- Colador: El colador para el primer filtrado del almidón fue de metal, de 1000 micrómetros de abertura.

- Baldes transparentes de plástico polietileno, para poder visualizar la decantación del almidón.
- Vasos precipitados con una capacidad de almacenamiento de 500 ml y 1000ml.
- Cuchillos.
- Mesas de aluminio

3.3.2. Equipos

- Licuadora industrial marca *Oster* con 12 tiempos de velocidad, con una velocidad de 450 watts.
- Balanza analítica marca PIONEER modelo InCal con una capacidad máxima de 210gr.
- Microscopio eletrônico de barrido, modelo S-3000N SEM (Hitachi Ltd. Tokio, Japón).
- Sistema de análisis térmico TGA-50 (Shimadzu Japón).
- Calorímetro diferencial de barrido.
- Difractómetro de rayos X modelo Ultimo 4 (Rigaku, Japón).
- Viscosímetro rápido modelo RVA-4 (Newport Sci., Australia).

3.3.3. Metodología

Para la extracción del almidón de oca, se tomó como referencia la metodología descrita por Fairlie, Bermudez, & Holle, (1999), realizando unas modificaciones a estos procesos de extracción ya establecidos por el autor.

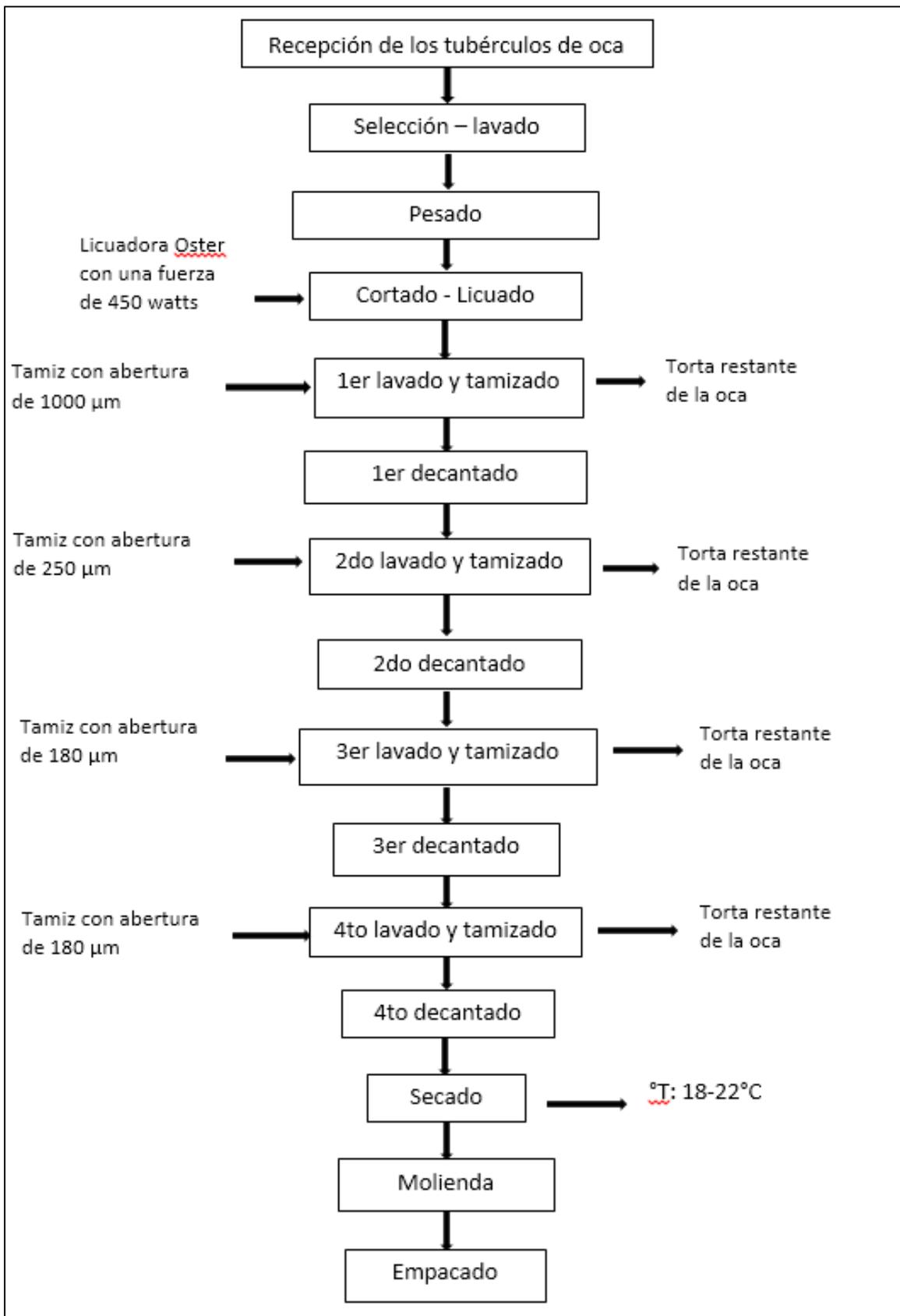


Figura 7. Diagrama de flujo de la extracción de almidón de oca.

3.4. Descripción del proceso

En seguida se observa la descripción de cada proceso de extracción de almidón de oca.

3.4.1. Selección y lavado

La selección de los tubérculos, se realizaron verificando el estado de las ocas, donde se eliminaron las ocas que presentaron partes malogradas, ocas arrugadas, o en mal estado. El lavado es el proceso donde se eliminará la mayor parte de los descuidos contaminantes del producto, para el lavado de la oca se usó abundante agua potable, el lavado de la oca se realizó percatándonos lavar bien las partes entrecerradas de la oca, ya que en estas partes es donde hay más residuos contaminantes como la tierra, restos de piedras y entre otras sustancias.

3.4.2. Pesado

El pesado se realizó en una balanza electrónica con una capacidad de 10kgr, donde se pesaron 1000gr de oca aproximadamente para determinar una cantidad promedio de 100gr de almidón de oca, el pesado del almidón se realizó en una balanza analítica con una capacidad de 210gr de pesaje.

3.4.3. Cortado y Licuado

El cortado se realizó con la finalidad de poder reducir el tamaño de las ocas, para ponerlos en la licuadora, y facilitar la demolición o licuado de las ocas. Este proceso se realizó haciendo el uso de cuchillos y una tabla de picar.

El licuado se realizó con la finalidad de poder obtener en su mayoría las partículas de almidón de oca, este proceso se realizó haciendo el uso de una licuadora marca *Oster* con 12 niveles de velocidad. Nosotros en este caso trabajamos con una velocidad de 450 watts el cual fue estándar para todos los tratamientos, la relación agua-oca fue 1-1 en decir 1kgr de oca más 1kgr de agua. Los tratamientos para la extracción de almidón se realizaron a tres tiempos de licuado (5, 10 y 15 min a una velocidad de 450rpm).

3.4.4. Lavado y Tamizado

Para obtener solo el almidón, se usaron tamices de mayor a menor tamaño de abertura (micrómetros) de las siguientes medidas: 1000 μm , 250 μm y 180 μm .

El lavado se realizó al almidón suspendido. Una vez que este pasó el proceso de tamizado o filtrado como ya se mencionó en el anterior proceso, se debe monitorear la cantidad de agua que se usará, este proceso nos ayudó a obtener un almidón más inocuo y libre de residuos como la fibra de y otros compuestos de la oca.

El proceso de tamizado se realizó con la finalidad de poder, retener la mezcla de fibra, proteínas y otros componentes de la oca, donde se dejó pasar por el tamizado solo el almidón.

Luego de cada tamizado, se procedió al lavado del almidón, el agua que se usó se monitoreó, es decir se midió la cantidad de agua.

3.4.5. Decantado

El decantado se realizó por medio de una suspensión de la muestra de oca licuada y tamizada para obtener un buen rendimiento de almidón.

3.4.6. Secado

El secado solar se realizó en bandejas de material de acero inoxidable, donde el almidón húmedo con restos de agua se colocó en las bandejas y se laminaron con un espesor homogéneo.

Luego una vez obtenido el producto final, se realizó a este una variedad de análisis y sus respectivas caracterizaciones.

3.4.7. Molienda

Este proceso se realizó con la finalidad de obtener un almidón pulverizado para su posterior uso. El almidón se molió hasta obtener una materia bien pulverizada, todo este proceso se trabajó en un mortero pequeño de cerámica.

3.4.8. Determinación de la morfología del granulo de almidón de oca por microscopia electrónica de barrido (SEM)

La morfología de los gránulos de almidón se analizó haciendo el uso de un microscopio electrónico de barrido (SEM), modelo S-3000N ATM (Hitachi Ltd. Tokio, Japón). Una tira de doble faz se fijó al soporte conductor de electrones y el almidón se extendió sobre las tiras. Estos se recubrieron con oro utilizando un pulverizador iónico E 102 (Hitachi Ltd., Tokio, Japón) durante 60 s a 50 mA. Los gránulos se examinaron luego bajo las siguientes condiciones: voltaje de 15,0 kV, corriente de emisión de 100 mA, alto vacío (10,4Pa), distancia de trabajo de 18.9-19.9mm con 5000x y 18,000x de magnificación.

3.4.9. Termogavimetria y termogavimetria derivada (TG-DTG)

Las curvas termogravimétricas/termogravimétricas derivadas (TG /DTG) se obtuvieron utilizando un sistema de análisis térmico TGA-50 (Shimadzu Japón), donde las muestras se calentaron de 20°C a 600°C utilizando crisol de **alúmina** cubierta con aproximadamente 3,59 mg de la muestra bajo un flujo de aire sintético de 150 mLmin⁻¹ a una velocidad de calentamiento de 10°C min⁻¹. El instrumento se calibró preliminarmente con peso estándar y con monohidrato de oxalato de calcio estándar. Todos los porcentajes de pérdida de masa se determinaron utilizando el software de análisis de datos TA-60 WS y las curvas DTG.

3.5. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

El Calorímetro Diferencial de Barrido es un equipo que cuenta con dos calentadores individuales y un controlador en el cual se puede regular el flujo de calor y monitorear la temperatura. Para llevar a cabo el experimento se requiere poner las cápsulas en estos calentadores, en una cápsula se coloca la muestra mientras que la otra se deja vacía para utilizarla como referencia (muestra inerte que no sufre cambios de fase). Al calentarse ambas cápsulas, el programa de computadora se asegura realizar el ensayo a la misma velocidad de calentamiento. Ya que una cápsula permanece vacía mientras que la otra contiene una muestra de polímero, se puede observar que tanta energía extra se necesita para calentar la cápsula que sujeta dicha muestra con respecto a la referencia; esta cantidad de energía es medida mediante DSC y se ve reflejada a través de un gráfico de flujo de calor vs temperatura conocido como termograma, donde el área bajo la curva representa la entalpía (Victoria Carolina Coello Ortiz & Barcia, 2012).

En la presente investigación las curvas DSC se obtuvieron 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. Se usó un crisol de aluminio vacío sellado como referencia para equilibrar la capacidad de calor total del crisol de la muestra. Se preparó una mezcla 4:1 (agua: almidón m/m) y durante 60 minutos para equilibrar el contenido de humedad. Los crisoles de aluminio fueron herméticamente sellados y luego se realizaron las curvas. El instrumento se calibró previamente con una pureza del 99,99% de indio, punto de fusión con $T_p = 156,6^\circ\text{C}$, $\Delta H = 28,56 \text{ Jg}^{-1}$. Los resultados se calcularon con el software Universal Analysis 2000. Los parámetros de gelatinización se caracterizaron automáticamente por el instrumento (Universal Analysis 2000), con temperatura de inicio ($T_o, ^\circ\text{C}$), temperatura máxima ($T_p, ^\circ\text{C}$), temperatura de conclusión ($T_c, ^\circ\text{C}$), así como la entalpía de gelatinización ($\Delta H_g, \text{Jg}^{-1}$) se calculó.

3.6. Difracción de Rayos X

Los patrones de difracción de rayos X (XRD) se obtuvieron mediante el uso de un difractómetro de rayos X, modelo Ultima 4 (Rigaku, Japón), que emplea radiación $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1.541 \text{ \AA}$) y con Figuras de 40 kV y 20mA. La radiación dispersa se detectó en el rango angular de 5-80° (2θ), con una velocidad de escaneo de 8° min^{-1} y un paso de 0.06°.

3.7. Determinación de las Propiedades de pasta de almidón (RVA)

Las propiedades de pegado de las muestras se determinaron usando un analizador de viscosidad rápido modelo RVA-4 (Newport Sci., Australia). Con una suspensión de 2,5 g (11% de humedad) de almidón con un aproximado de 25,5 ml de agua destilada que luego se sometió a un ciclo de calentamiento y enfriamiento controlado bajo cizallamiento constante (160 rpm) donde se mantuvo a 50°C durante dos minutos, calentado seguidamente de 50 a 95°C por 6 min, luego se mantuvo a 95°C durante 5 minutos, y finalmente se enfrió a 50°C por 6°C min y se mantuvo a 50°C durante 2 min.

3.8. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño que se aplicó para este trabajo de investigación fue el Diseño Completamente al Azar (DCA) tomando como una variable independiente el tiempo de molienda de la oca, y por otro lado tomando como variable dependiente el rendimiento de almidón, donde en total se generaron 12 repeticiones como se puede ver en la tabla 10.

Tabla 10
Tratamientos del estudio de la extracción del almidón de oca.

Tiempo de molienda de la oca	Repeticiones			
	1	2	3	4
5 min	1	4	7	10
10 min	2	5	8	11
15 min	3	6	9	12

En la tabla 10 se aprecia que nuestra variable dependiente fue el tiempo de molienda que fueron de 5 minutos, 10 minutos y finalmente 15 minutos, y como variables independientes o como variables respuesta fue el rendimiento de almidón de oca.

Para cada tratamiento se realizó con cuatro repeticiones para que así este pueda generar resultados más confiables, a cada experimento de extracción se evaluó el rendimiento también a esto se le determinó un promedio y su desviación estándar a todas las pruebas en general.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Extracción y determinación del rendimiento del almidón de la oca

El tiempo de molienda y el nivel de potencia de licuado, son parámetros que influyen en el rendimiento del almidón.

Tabla 11

Datos de la extracción del almidón de oca, el rendimiento en porcentajes y su desviación estándar.

Masa Oca aprox. (g)	Tiempo, (min)	Potencia, (W)	Agua licuado (L)	Agua lavado, (L)	Agua proceso, (L)	Rendimiento de almidón (%) y su desviación estándar
000	5	450	1	5,5	6,5	26,49 ± 2,39 σ
1000	10	450	1	5,5	6,5	27,04 ± 2,40 σ
1000	15	450	1	5,5	6,5	28,39 ± 1,32 σ

La tabla 11 detalla el modo de extracción del almidón y los parámetros con el que se trabajaron, donde se muestra que se trabajó con 1000gr de oca, se realizó tres tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones para que puedan generar resultados más exactos, el nivel de potencia para la molienda de la oca fue de 450W para cada tratamiento, la cantidad de agua que se usó para cada molienda o licuado de la oca fue de 1Lt. Aproximadamente, la cantidad de agua usada solamente para el lavado fue de 5.5 Lt., el agua adicional que se gastó durante el proceso para cada tratamiento fue de 6.5 Lt. Aproximadamente y finalmente en la tabla 11 se muestra el rendimiento del almidón en (%) y su desviación estándar (σ). Donde se ve que en el primer tratamiento se generó un rendimiento de: 26,49 ± 2,39 σ , en el segundo tratamiento se ve un rendimiento de: 27,04 ± 2,40 σ y al final en el tercer tratamiento pudo generad un resultado de: 28,39 ± 1,32 σ , aparentemente se puede observar que el mayor rendimiento se generó en el tercer tratamiento.

En seguida en la tabla 12 se observa detalladamente que usando aproximadamente 1000gr de oca y cuando a este se le somete a un tiempo de molienda de 5 minutos, el

rendimiento varia pero la diferencia es mínima por ejemplo si nos enfocamos en los resultados del primer tratamiento y cada uno con sus respectivas repeticiones se ve que inicialmente se obtiene un rendimiento de: 89.9546gr (Tratamiento 1- repetición 1), 94.6204gr. (Tratamiento 1 - repetición 2), 111.597gr. (Tratamiento 1 - repetición 3), y finalmente 108.7188gr. (Tratamiento 1 – repetición 4). En el segundo bloque de la tabla se observan los rendimiento del tratamiento 2 cuando la oca se le somete a un tiempo de molienda de 10 min y el rendimiento fue de: 99.8555 gr. (Tratamiento 2 – repetición 1), 94.4857gr. (Tratamiento 2 – repetición 2), 116.2778gr. (Tratamiento 2 – repetición 3) y finalmente 107.5911gr. (Tratamiento 2 – repetición 4). En el tercer bloque de la tabla 12 se observa también que los resultados del rendimiento de almidón del tercer tratamiento cuando a la oca se le somete a 15 de molienda, los resultados generados fueron: 101.831gr. (Tratamiento 3 – repetición 1), 106.871gr. (Tratamiento 3 – repetición 2), 109.3269gr. (Tratamiento 3 – repetición 3), y por último 115.8311gr. (Tratamiento 3 – repetición 4). Cada uno de estos resultados se muestran en gramos, lo que hace que sea más entendible, por otro lado si nos enfocamos en los resultados del rendimiento, cada resultado no tiene una varianza que resalte, es decir la varianza de los resultados en cuanto al rendimiento del almidón, son mínimas.

Tabla 12

Resultados y cantidad de pruebas de la extracción de almidón de Oca y sus resultados del rendimiento.

Tiempo	Rendimiento			
5 min	89.9546 gr.	94.6204 gr.	111.597 gr.	108.7188 gr.
10 min	99.8555 gr.	94.4857 gr.	116.2778 gr.	107.5911 gr.
15 min	101.831 gr.	106.871 gr.	109.3269 gr.	115.8311 gr.

En la tabla 13 y la figura 14 se puede observar el resumen de los resultados del rendimiento de almidón de oca, y con la figura 8 se puede comprobar que no hay una diferencia significativa en cuanto al rendimiento del almidón, si a este se le somete ya sea 5, 10 o 15 min de molienda.

Tabla 13

Resumen de los resultados de los resultados del rendimiento del almidón de oca.

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
5	4	404.8908	101.2227	111.459353
10	4	418.2101	104.552525	90.0393404
15	4	433.86	108.465	33.8510309

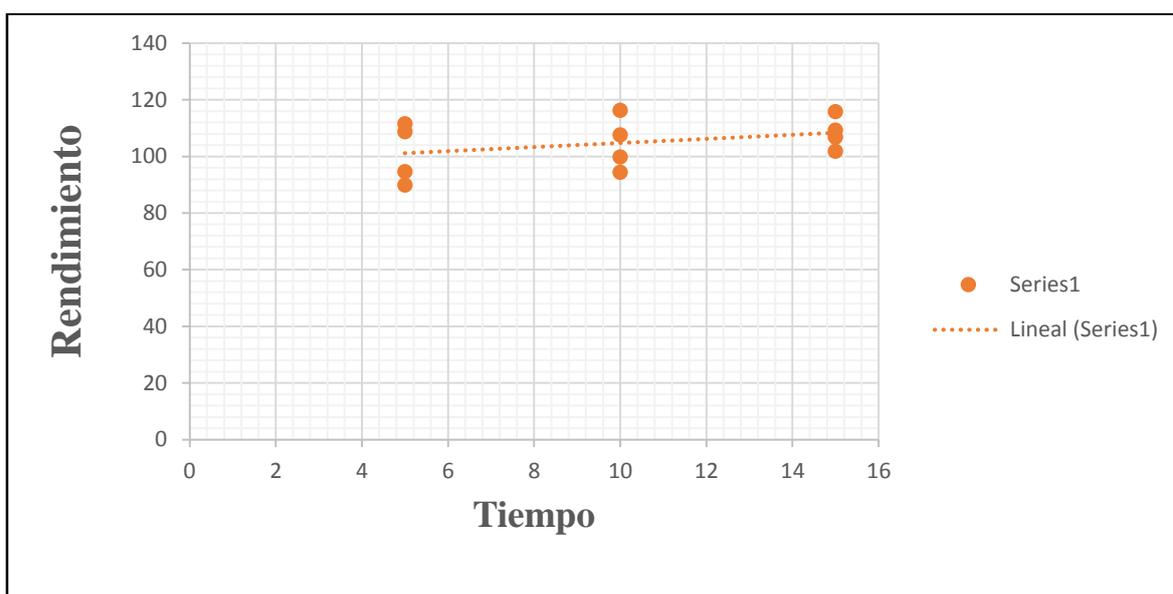


Figura 8. Resultados del rendimiento de la extracción del almidón de oca mostrados en gráficos.

Con relación al tema del rendimiento del almidón, en la tabla 13 y la figura 8 se detallan en resumen el número de las variables independientes con sus respectivas cantidades de repeticiones como se ve en la segunda columna, en la tercera columna se observa la suma de los resultados las cantidades de rendimiento en gramos, en la cuarta columna se puede ver el resultado promedio, y finalmente se observa la varianza que existe entre los datos con relación a la respuesta rendimiento. Nuevamente se observa que la diferencia en cuanto a los resultados del rendimiento del almidón, son mínimas que al final no sobresalen por lo que los análisis de varianza de los valores promedio se entrecruzan y esto da a entender que no hay diferencia significativa en el rendimiento del almidón, y se da a entender que si se trabaja con 1000 gr de oca, se puede trabajar a un tiempo de molienda ya sea de 5, 10 o 15 min, porque finalmente los resultados en cuanto al rendimiento no serán demasiado diferentes, ya que se pudo comprobar con el almidón de oca como se detalla en la tabla 13 y la figura 8.

Tabla 14
Resultados del análisis de varianza de los resultados del rendimiento.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	105.13	2	52.56	0.67	0.54	4.26
Error	706.05	9	78.45			
Total	811.18	11				

La tabla 14 nos muestra que el valor F es de 0.67 inferior al valor crítico, cuando este es inferior da a conocer que no hay diferencia significativa el cuándo al rendimiento del almidón de oca, y el valor P que también se le conoce como probabilidad es mayor a 0.05 esto también nos indica que no existe diferencia significativa para evaluación del rendimiento de la extracción del almidón de oca, por lo que daría igual trabajar con un tiempo de molienda de 5min , 10 min, o 15 min, ya que en la variable rendimiento no habrá demasiada diferencia.

Investigaciones realizadas por Fairlie, Morales, et al. (1999) Donde trabajaron con aproximadamente 2kg. De oca, zanahoria blanca, mashua y miso donde el rendimiento del almidón de oca fue de 45.89%, aportando que el contenido de almidón ya sea bajo o alto, generalmente se deben a al tamaño del tubérculo, o raíz y también el tamaño de los gránulos de almidón. Además cabe mencionar que estas características parecen influir notablemente en la extracción del almidón, contribuyendo a ello los gránulos de mayor tamaño, por ejemplo (Fairlie, Morales, et al., 1999, p. 28) menciona que el almidón de oca a pesar de poseer un menor contenido de almidón (42,17%), el rendimiento por extracción fue mayor a comparación del melloco, mashua, miso y zanahoria blanca.

Además de ello Cobana & Antezana (2007, p.79) en sus investigaciones en cuanto a la extracción de almidón de yuca se vio que los parámetros que influyen en el rendimiento del almidón fueron el tiempo de molienda y velocidad de rotación del tamizado. Además, según (Davis & Erika, 2012) recalca que la cantidad de almidón que genera un producto dependerá de la calidad del producto, la proveniencia de tal producto y su origen, porque de ello dependerá el rendimiento del almidón.

4.2. Forma y tamaño de los gránulos de almidón de oca

4.2.1. Forma del granulo de almidón de oca

En la Figura 9 se observa el tamaño del gránulo de almidón de y para ello la metodología SEM nos ayudó a observar las formas de los gránulos de almidón de oca donde se puede observar que estas presentan formas elípticas, ovaladas y alargadas con superficies lisas, algunas de ellas son pequeñas y presentan formas redondas pero deformes. Los datos que se muestran en la tabla 15, también dan a conocer las formas del almidón de oca de la variedad k'ellu kamusa, entre ellos también están otros tubérculos y hasta cereales.

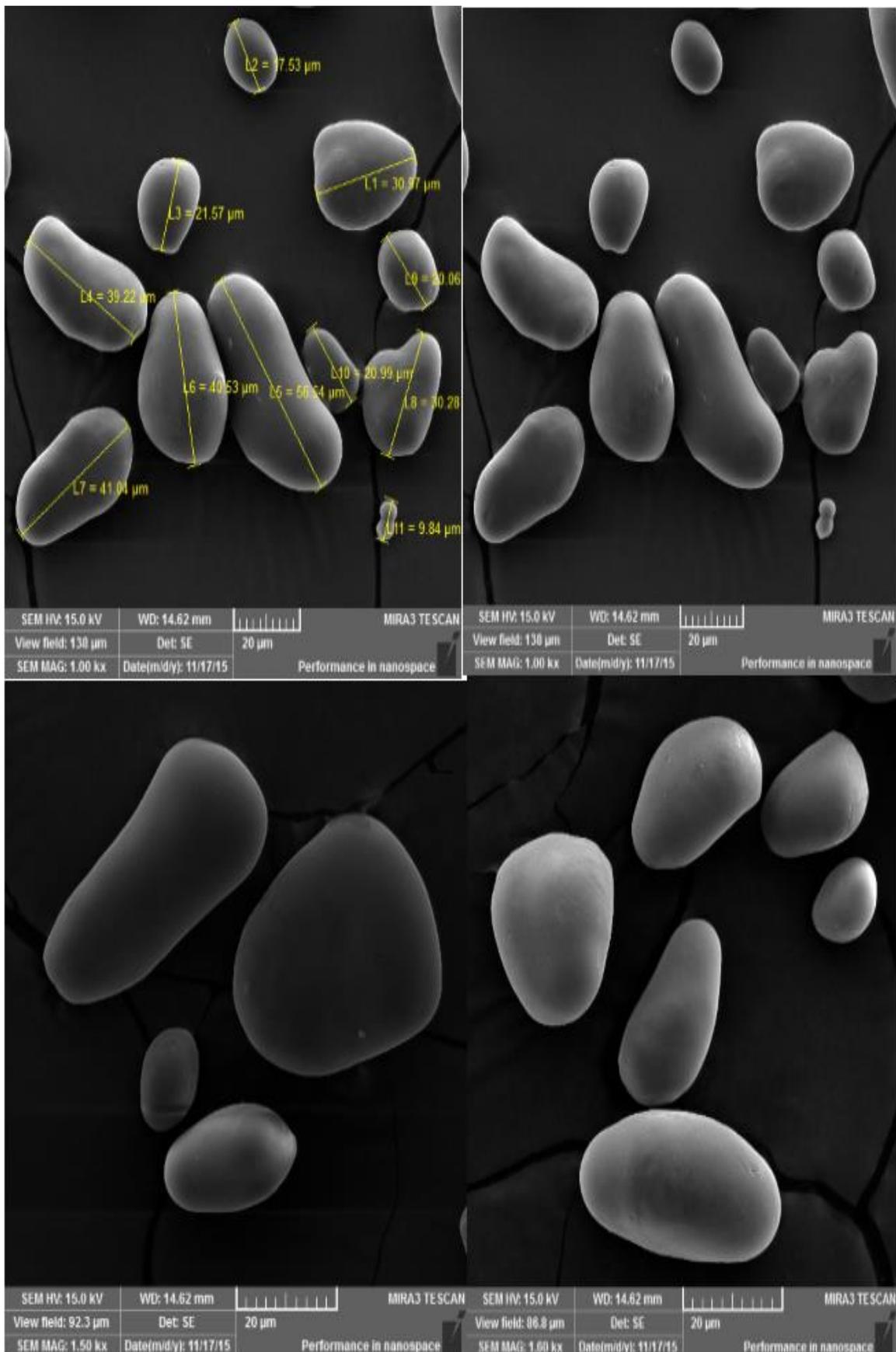


Figura 9. Imágenes de gránulos de almidón nativo de Oca observados mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) vista a 1000 X y 1600 X de aumento.

Tabla 15

Resultado de formas de almidones, provenientes de diversas fuentes.

Tipo de almidón	Forma del almidón	Métodos
Almidón de ocaK´ellu kamusa(a)	Elípticas y ovaladas	S.E.M.
Almidón de mapuey blanco (b1)	Ovalados y alargados	S.E.M.
Almidón de mapuey morado (b2)	formas de pera y alargadas	S.E.M.
Plátano (c)	Ovaladas y alargadas	S.E.M.
Almidón de oca (d)	Ovales y elípticas	S.E.M.
Almidón de oca (e1)	Cilíndrica, elipsoide y oval	S.E.M.
Almidón de olluco (e2)	Elipsoidales, oval, cónica y prismática	S.E.M.
Almidón de mashua (e3)	Ovales, esféricos y truncados	S.E.M.
Almidón de Yuca (f1)	Esférica y redonda	M.O.A.R.
Almidón de papa (f2)	Ovoide y redonda	M.O.A.R.
Almidón de ñame (f3)	Lenticular y redonda	M.O.A.R.
Almidón de mirabilis jalapa (g)	Esférica	S.E.M.

Nota: en la presente tabla se muestran las diferentes variedades de almidones y sus respectivas formas y se menciona sus respectivos autores: Propia (a); (Rached et al., 2006)(b1); (Rached et al., 2006)(b2); (Villalobos, Hernandez, Rodriguez, Delgado, & Vázquez, 2010) (c); (Lauzardo, Montealvo, Valle, Fera, & Perez, 2004)(d); (Yamani et al., 2013) (e1); (Yamani et al., 2013) (e2); (Yamani et al., 2013) (e3); (Alvis, Vélez, Villada, & Rada Mendoza, 2008)(f1); (Alvis et al., 2008)(f1); (Alvis et al., 2008)(f3) y (Augusto Pumacahua Ramos et al., 2015)(g).

Las formas que presentan el almidón con el que se trabajó, se asemejan a las formas de los gránulos de almidón de: mapuey blanco (b1), plátano (c), oca (d y e1), olluco (e2), mashua (e3). En cambio, en otras investigaciones, los almidones de: mapuey morado, (b2), Almidón de Yuca (f1), Almidón de papa (f2), Almidón de ñame (f3) y Almidón de mirabilis jalapa (g), muestran formas no semejantes a los almidones de oca de variedad k'ellu kamusa. Según (Dumar Quintero Castaño et al., 2012), considera que la forma de los gránulos de almidón es atribuida por el origen botánico del producto, a la bioquímica de los amiloplastos y la fisiología de los productos.

Por otra parte (Yamani et al., 2013, p. 456) menciona que las variaciones en las características morfológicas de los gránulos de almidón de deben a los orígenes biológicos de las plantas, así mismo también estas dependen de la bioquímica de los cloroplastos o amiloplastos, así como de la fisiología de las plantas, factores ambientales como la temperatura, el almacenamiento y las prácticas culturales.

4.3. Tamaño de los gránulos de almidón de oca

En la Figura 10, se pueden observar el tamaño promedio de los gránulos de almidón de oca de la variedad k'ellu kamusa, que fue de 29.87 μm con una desviación estándar de 12.91 μm (n=10). En la tabla 16 se muestran el tamaño de algunos gránulos de almidón de diversos productos con sus respectivas fuentes. El tamaño de los gránulos de almidón de oca de la variedad K'ellu kamusa, son semejantes al tamaño de los gránulos de almidón de otra variedad de oca que cuya variación es de 7.99 – 54.30 μm (b1), los gránulos de almidón de olluco varían de 6.45 – 32.64 μm (b2), almidón de oca de otra variedad presenta un tamaño de 25-50 μm (j), almidón de arracacha presenta un tamaño de 25.24 μm (e5), almidón de mapuey blanco presenta un tamaño de 34.15 $\mu\text{m} \pm 7.97\mu\text{m}$ (f1) y mapuey morado presenta un tamaño que varía de 30.33 $\mu\text{m} \pm 9.16 \mu\text{m}$ (f2). En cambio, los almidones de mashua, ñame, plátano, yuca, batata, mirabilis jalapa y chachafruto son superiores y algunos demasiado inferiores al tamaño de los gránulos de almidón de la oca variedad **K'ellu kamusa**.

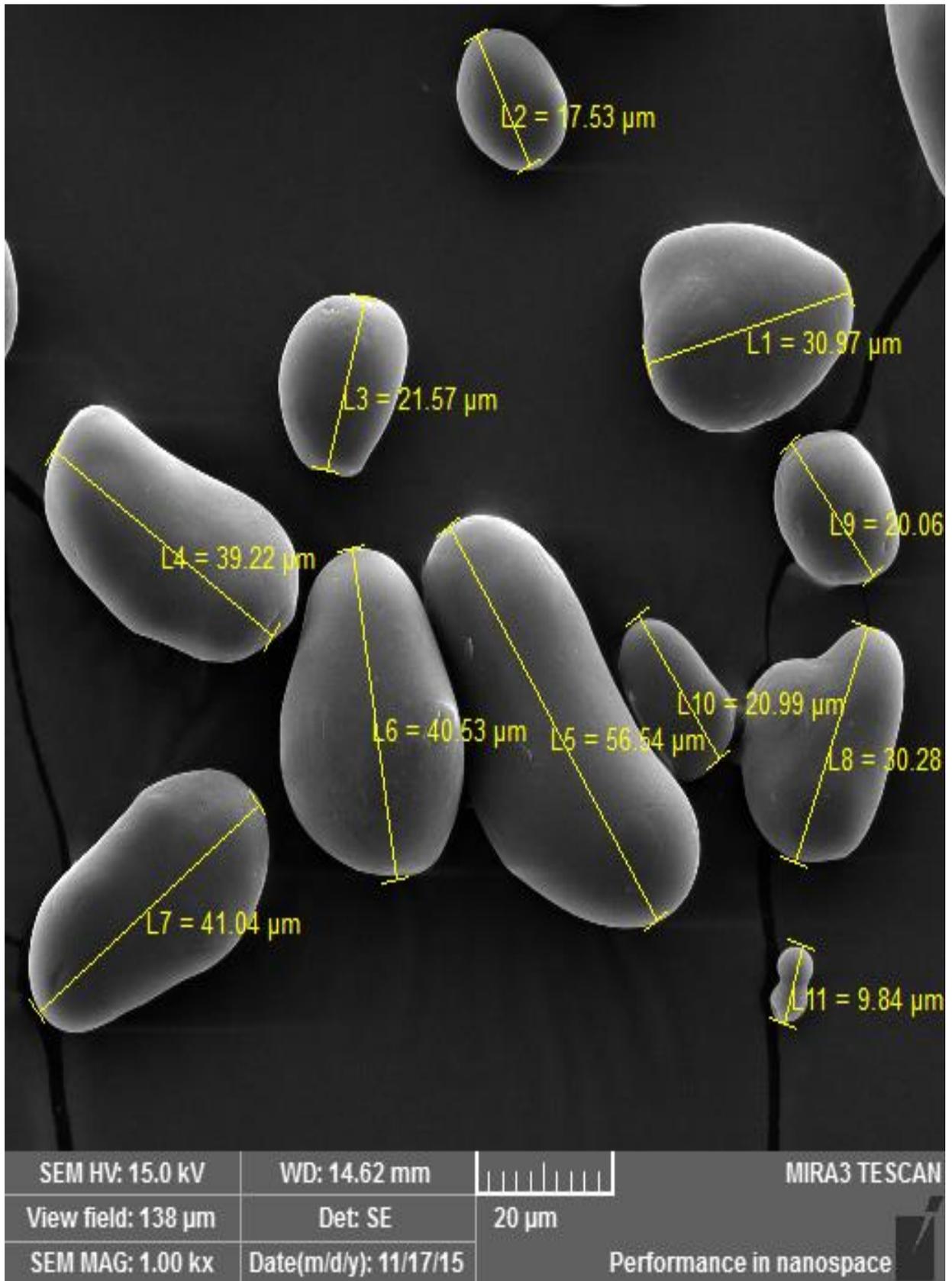


Figura 10. Tamaño de los gránulos de almidón de oca observados a 1000X de aumento mediante Microscopía de Electrónica de Barrido (SEM).

Tabla 16

Tamaño de los gránulos provenientes de diversas fuentes como: almidón de oca, almidón de olluco, almidón de mashua, almidón de ñame, almidón de plátano, batata, yuca, arracacha, mapuey blanco, mapuey morado, almidón de chachafruto y almidón de mirabilis jalapa.

Producto	Promedio longitud μm	Ancho Diámetro μm	Desviación estándar
Almidón de oca K'ellu kamusa(a)	29.87	-	12.91 (n=10)
Almidón de oca (b1)	7.99 – 54.30	6.99 – 54.30	
Almidón de olluco (b2)	6.45 – 32.64	5.68 – 23.18	
Almidón de mashua (b3)	4.39 – 16.19	4.07 – 13.09	
Almidón de Oca (c)	25 – 50		
Almidón de mashua (d)	4.39 – 16.29	4.07 – 13.09	
Almidón de ñame (e1)	126.57		17.17
Almidón Plátano (e2)	73.58		18.94
Almidón Batata (e3)	62.96		25.02
Almidón Yuca (e4)	41.03		7.48
Almidón Arracacha (e5)	25.24		5.97
Almidón Mapuey blanco (f1)	34.15 \pm 7.97	21.34 \pm 4.00	
Almidón Mapuey morado (f2)	30.33 \pm 9.16	16.67 \pm 3.27	
Almidón de plátano (g)	40 a 45	11- 22.3	
Almidón de chachafruto (h)	10 - 18,3		
Almidón de Mirabilis jalapa L. (i)	1.06	1056 \pm 128	
Almidón de oca (j)	25-50		

Nota: En la siguiente descripción, se dan a conocer las fuentes de donde se obtuvo la información que son las siguientes: Fuente Propia (a); (Yamani et al., 2013)(b1); (Yamani et al., 2013)(b2);(Yamani et al., 2013) (b3);(Hernández Lauzardo, Méndez Montealvo, Velázquez Del Valle, Solorza Fera, & Bello Pérez, 2004)(c) ; (Tomas Tovar Benitez, 2008)(d); (Delgado & Santander, 2013)(e1); (Delgado & Santander, 2013)(e2); (Delgado & Santander, 2013)(e3); (Delgado & Santander, 2013)(e4); (Delgado & Santander, 2013)(e5); (Rached et al., 2006)(f1); (Rached et al., 2006) (f2); (Castillo, Montecalvo, Ambriz, Rivera, & Pérez, 2012)(g); (Carvajal, Castaño, & Aguirre, 2013)(h) y (Pumacahua Ramos et al., 2015)(i); (Lauzardo, Montealvo, Valle, Fera, & Perez, 2004)(j).

Además de esto estas características que definen al almidón, también 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 reológicas (Méndez et al., 2009, p. 117).

De acuerdo con Carvajal, Castaño, & Aguirre, (2013) la morfología de los gránulos de almidón se debe al origen botánico, la morfología de los amiloplastos, el grado de maduración del fruto la y fisiología de la planta. Además, los tamaños de los gránulos de almidón indican tener una influencia sobre las propiedades funcionales, mientras más pequeños sean los gránulos, mayor es su digestibilidad y son considerados como los más resistentes a procesos a altas temperaturas como la esterilización. En algunos casos, el tamaño de los gránulos de los almidones muestran relación con la proporción amilosa/amilopectina.

Algunos almidones pequeños, pueden ser usados como sustitutos de grasas, películas biodegradables llenas de almidón, polvos faciales, estabilizadores en polvos para hornear, entre otros. Por otra parte investigaciones realizadas con almidones de patata y camote que presentaron diferentes tamaños granulares (Chen et al. 13), concluyeron que los gránulos con diámetros pequeños producían geles con mayor firmeza , tenían mejor procesabilidad, caracterizados como fluidos en la masa de almidón para la fábrica de tallarines y tenían mejor calidad (Augusto Pumacahua Ramos et al., 2015).

Las diferencias en el tamaño de los gránulos de los almidones se atribuyen presumiblemente por los diversos métodos de cultivación, condiciones de crecimiento y fisiología de las plantas. Además, el tamaño de los gránulos de almidón juega un papel importante en la influencia de los parámetros de pegado de los almidones (Noda, Tsuda, Mori, y Takigawa, 2004; Zaidul et al., 2007). Los gránulos finos de almidón podrían usarse como sustitutos de la grasa en alimentos altos en grasas (Abegunde, Mu, Chen, & Deng, 2013).

4.4. Termogravimetría y termogravimetría derivada (TG/DTG) y calorimetría de barrido (DSC).

En la Figura 11 y la Tabla 17, se observan los resultados de las curvas de termogravimetría del almidón, donde en la primera zona (primera curva) ocurre una pérdida inicial de masa que fue de -1.098 mg equivalente a un -11.99% a un rango de temperatura de 33.41°C a 128.96°C, representado con un pico máximo a una temperatura de 67.49°C. Seguidamente observamos que en la segunda zona (segunda curva) ocurre una estabilidad,

donde se pierden -6.703 mg igual a -73.225% de pérdida de masa a una temperatura que varía de 128.36 y 229.71°C con un pico máximo a una temperatura de 277.27°C, y finalmente apreciamos que en la tercera zona (tercera curva) tiene una pérdida de masa de -1.642 mg equivalente a un -17.927% a una variación de temperatura de 360°C a 536.88°C con un pico representativo a una temperatura de 464.17°C.

Investigaciones realizadas con el almidón de chachafruto, los resultados en relación a la termogravimetría mostraron que en el primer pico se genera a una temperatura de 50-2250°C donde se genera una pérdida de masa de 10.92% el pico representativo de este fue a 200.94°C, el hecho de que se realice esta pérdida de masa en la primera se, se debe a la pérdida de del contenido de humedad de la muestra, la segunda degradación del almidón fue de 246-364°C, con un pico representativo y a la vez mas resaltante generado a una temperatura de 301.21°C la pérdida de masa fue de 68.52% la pérdida de masa que se genera en esta zona corresponde a la fase de descomposición pirolítica de los biopolímeros (amilosa y amilopectina). En esta etapa de descomposición, presenta su máxima velocidad de reacción (301.21°C). Y finalmente la tercera degradación del almidón se generó de 373.8-584.7°C, y la pérdida de masa fue de 19.41% donde este género un pico representativo a una temperatura de 493.17°C, generalmente en la última zona de descomposición de los almidones se genera una degradación de recombinación de los productos de combustión son sales inorgánicas.

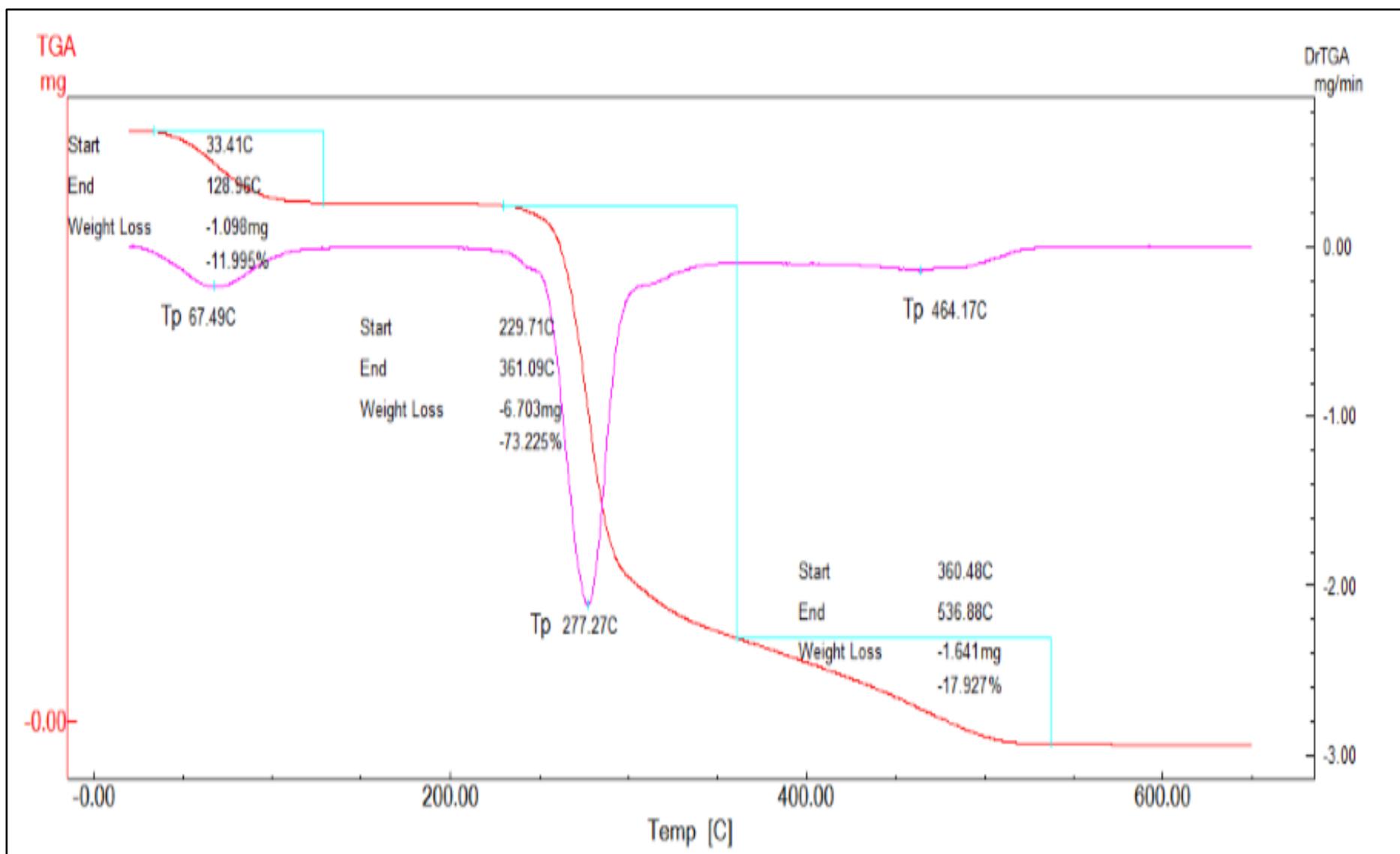


Figura 11. Curvas de termogravimetría, temperaturas y pérdidas de masa del almidón de oca de la variedad K'ellu kamusa.

Tabla 17

Resultados de la termogravimetría y termogravimetría derivada (TG/DTG).

Resultados TGA y DTGA			
Etapas de desnaturalización y estabilidad del almidón de oca (a)			
	Δm (%)	ΔT (°C)	T_P (°C)
1	11.995	33.41-128.96	67.49
Estabilidad	-	128.96-229.71	-
2	73.225	229.71-361.09	277.27
3	17.927	360.48-536.88	464.17
Etapas de desnaturalización y estabilidad del almidón de chachafruto (b)			
	Δm (%)	ΔT (°C)	T_P (°C)
1	10.92	50 - 2250	200.94
2	68.52	246 - 364	301.21
3	19.41	373.8 – 584.7	493.17
Etapas de desnaturalización y estabilidad del almidón de yuca (c)			
	Δm (%)	ΔT (°C)	T_P (°C)
1	10.60	30 – 146	56.68
Estabilidad	-	146 – 274	-
2	72.88	274 – 413	341.69
3	16.25	413 - 541	513.63
Etapas de desnaturalización y estabilidad del almidón de mirabilis jalapa (d)			
	Δm (%)	ΔT (°C)	T_P (°C)
1	8.99	21.5 – 131.1	61
Estabilidad	-	131.1 – 291.9	-
2	69.01	291.9 – 419.1	354.1
3	16.95	419.1 – 546.8	536.0

Nota: A continuación se describen las fuentes de resultados en relación a la termogravimetría de diversos productos los cuales son: fuente propia(a); (Carvajal et al., 2013)(b); (Colman, Demiate, & Schnitzler, 2014)(c) y (Augusto Pumacahua Ramos et al., 2015)(d).

Según Colman et al., (2014) da a conocer que el almidón de yuca nativo, presenta 3 zonas de degradación. En la zona 1 una masa de 10.60% a una temperatura de degradación de 30-146°C con un pico representativos a 56.68°C seguidamente se muestra un área de estabilidad a 146.274°C, en la zona 2 presenta una masa de 72.88% a una temperatura de degradación de 274-413 con un pico máximo y relevante a una temperatura de 341.69°C, y finalmente en la zona 3 la pérdida de masa fue de 16.25% a una temperatura de degradación de 413-541°C con un pico representativo a una temperatura de 513.63°C. Donde la primera pérdida de masa se debió al proceso de deshidratación, luego los compuestos anhídridos se mantuvieron estables hasta alrededor de 262°C en la segunda y tercera zona ocurrió la

descomposición de la materia orgánica, las curvas DTG se usan con la finalidad de determinar las temperaturas y pérdida de masa en curvas de TG.

Además, investigaciones el almidón de mirabilis jalapa, presentó tres zonas de degradación, en la primera zona ocurrió una pérdida de masa de 8.99% a una temperatura de 21.5-131.1, donde genero una curva representativa a 61°C en esta etapa se atribuyó deshidratación. Una vez deshidratados, en seguida presentó una etapa de estabilidad a una temperatura de 131,1-291.9°C, en la segunda zona ocurrió una pérdida de masa de 69.01% de masa a una temperatura de 291.9-419.1 donde a 354.1°C generó el pico más alto y relevante, en esta segunda etapa se atribuyó la descomposición y oxidación de la materia orgánica (amilosa y amilopectina) que ocurrió en reacción consecutiva y con perdida relevante (69.01% y 1695%). Finalmente, en la zona 3 la pérdida de masa fue de 16.95% a una temperatura de 419.1-346.8°C y destacó un pico representativo a una temperatura de 536.0°C, el residuo final fue de 5.05%.

4.5. Calorimetría diferencial de barrido DSC

La temperatura de gelatinización del almidón de oca empieza 49.95 ± 0.06 que se conoce como temperatura inicial (T_0), la temperatura de gelatinización o temperatura pico representativo fue de 55.50 ± 0.17 (T_P), y por último la temperatura final fue de 66.89 ± 0.03 (T_C), se ve claramente que el almidón de oca a una variación de temperatura de $49 - 55^\circ\text{C}$ aproximadamente (7°C) el almidón ya se gelatiniza. La transición y entalpia de gelatinización que generó el almidón fue de 11.04 ± 0.59 (ΔH_g (J/g^{-1})), como se puede observar en la figura 12 y la tabla 18, además de los resultados de la oca, también se aprecia que los resultados de análisis térmicos de otros productos (ver tabla 18) que también son fuentes de almidón como los almidones de olluco y mashua empiezan a absorber calor a 52.81 y 51.85°C que son temperaturas superiores al almidón de oca, y la temperatura a la que absorben el mayor calor fue a 58.93 y 56.92°C que también son temperaturas superiores al almidón de oca, la temperatura final donde absorben un calor mínimo fue de 67.88 y 65.22°C que son muy similares y a la vez cercanos a los resultados del almidón de oca de la variedad k'ellu kamusa y finalmente las entalpias de gelatinización del almidón de olluco y mashua son 10.23 y 9.78 ΔH_g (Jg^{-1}) que también similares y a la vez cercanos al almidón de oca.

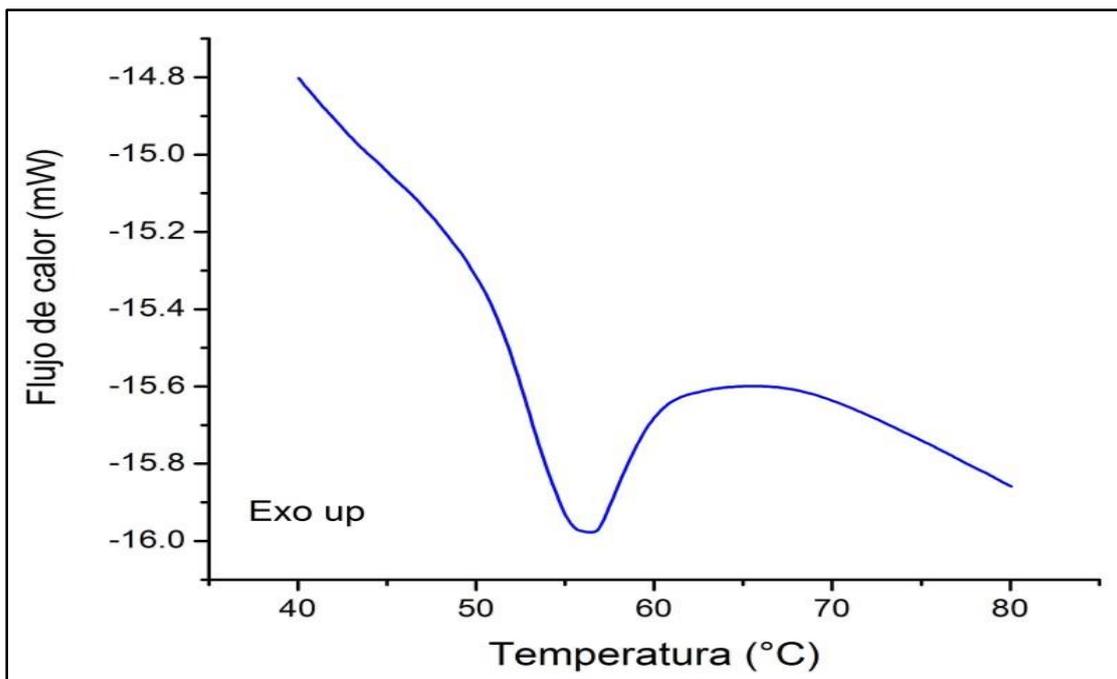


Figura 12. En la presente figura se observan los resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido.

Tabla 18

Resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido.

Resultados DSC				
	$T_0(^{\circ}\text{C})$	$T_P(^{\circ}\text{C})$	$T_C(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H_g (\text{Jg}^{-1})$
Almidón de oca variedad K'ellu kamusa (a)	49.95±0.06	55.50±0.17	66.89±0.03	11.04±0.59
Almidón de Oca (b1)	50.26±0.30	55.17±0.03	63.91±1.43	9.66±0.68
Almidón de Olluco (b2)	52.81±0.52	58.93±0.42	67.88±0.34	10.23±0.54
Almidón de mashua (b3)	51.85±0.41	56.92±0.10	65.22±0.28	9.78±0.58
Almidón de chachafruto (c)	56.65	70.06	85.12	4.866
Almidón de maca amarilla (d1)	47.5	51.4	57.8	14.6
Almidón de yuca (d2)	60.3	67.8	77.3	16.7
Almidón de papa (d3)	58.2	61.2	67.9	15.6
Almidón de papa (e1)	62.4	69.8	84.1	4.8
Almidón de yuca (e2)	60.0	69.0	80.0	4.6
Almidón de mirabilis jalapa (f)	76.7±0.1	82.1±0.1	87.2±0.5	5.62±0.70

Nota: fuente propia (a); (Yamani et al., 2013) (b1, b2 y b3); (Carvajal et al., 2013) (c); (Zhang, Li, Wang, Yao, & Zhu, 2017) (d1,d2 y d3); (Maria & Wenzel, 2006) (e1 y e2) y (Augusto Pumacahua Ramos et al., 2015).

La temperatura de $55.50 \pm 0.17^\circ\text{C}$ o conocido también como temperatura de pico mayor nos indica que este almidón se gelatiniza con facilidad, al igual que otros almidones de oca (otra variedad), olluco y mashua. En cambio, otros almidones son más resistentes a las temperaturas y no gelatinizan con rapidez.

Además, experimentos que se realizaron con los almidones de maca amarilla, yuca y papa mostraron una temperatura inicial de 47.5, 60.3 y 58.2°C ; la temperatura de pico de las tres variedades de almidón fue de 51.4, 67.8 y 61.2, las temperaturas finales fueron de 14.6, 16.7 y 15.6°C , finalmente las entalpías de gelatinización fueron a 14.6, 16.7 y 15.6 (ΔH_g (Jg^{-1})). Se ve que estos resultados son muy lejanos a los resultados del almidón de oca de la variedad K'ellu kamusa. Los resultados de los almidones no mencionados pero que se encuentran en la tabla 18, son muy lejanos a los almidones de oca de la variedad K'ellu kamusa en cuanto a los análisis de calorimetría diferencial de barrido.

Las diferencias entre los valores de entalpías se deben a la variedades genéticas, procedencia, condiciones climáticas (Augusto Pumacahua Ramos et al., 2015), además de ello, las propiedades térmicas del almidón de oca podrían atribuirse a diversos factores, como variaciones en la relación amilosa / amilopectina, longitud de la cadena de amilopectina, tamaño y forma de los gránulos de almidón, contenido de humedad, estado de madurez y también algunas condiciones ambientales, como presión, daños mecánicos, condiciones experimentales y variaciones en la metodología de extracción (Yamani et al., 2013).

También Maria & Wenzel (2006, p. 531), reporta que las presencias de cadenas cortas al ser sometidas a un calentamiento presentan mayor movilidad y el fenómeno de gelatinización se inicia a temperaturas menores. Las elevadas temperaturas para las leguminosas inducirían al uso de temperaturas mayores que serían utilizadas también para otros almidones comunes, durante los procesos térmicos a la que son sometidos los alimentos, para poder lograr una gelatinización completa y asegurar su efecto espesante. Esta característica hace factible su inclusión en productos que son sometidos a altas temperaturas de procesamiento, como los productos enlatados, también los valores menores de entalpía de gelatinización están relacionados con mayores niveles de amilosa.

En alguna medida, las diferencias observadas pueden deberse a la composición química del almidón; por ejemplo, se ha visto que la temperatura de gelatinización está correlacionada negativamente con el contenido de amilosa, existe también variación entre almidones de distintas variedades de la misma especie. Por ejemplo el almidón de maíz

presenta variaciones, donde la temperatura de gelatinización (T_0) es de 59.8 a 64.7°C en el almidón de diferentes plantas de la misma variedad (V. Dendy & J. Dobraszczyk, 2003, p. 94).

4.6. Difracción de rayos X (XRD)

La cristalinidad del almidón está asociada con el contenido de amilopectina y la fase amorfa con la amilosa (Oscar, Julio, Cesar Armando Ortiz, & César, 2013). La importancia de la caracterización de almidones radica en su utilidad en el momento de seleccionar la materia prima para la industria alimentaria, debidos a la relación de sus componentes con el porcentaje de cristalinidad y sus efectos en la humedad, la dureza y el color del producto final.

El tipo A para es almidones de cereales, el tipo B para tubérculos y el otro tipo de diagrama de difracción es el C, el cual se muestra como una mezcla de diagrama A y B, que es característico de la mayoría de almidones de legumbres y también cereales que crecen en condiciones específicas de temperatura e hidratación, de acuerdo con datos de difracción de polvo de amilosa (Carvajal et al., 2013).

En la Figura 13 se muestra el difractograma (RDX) del almidón de oca con sus respectivos grados.

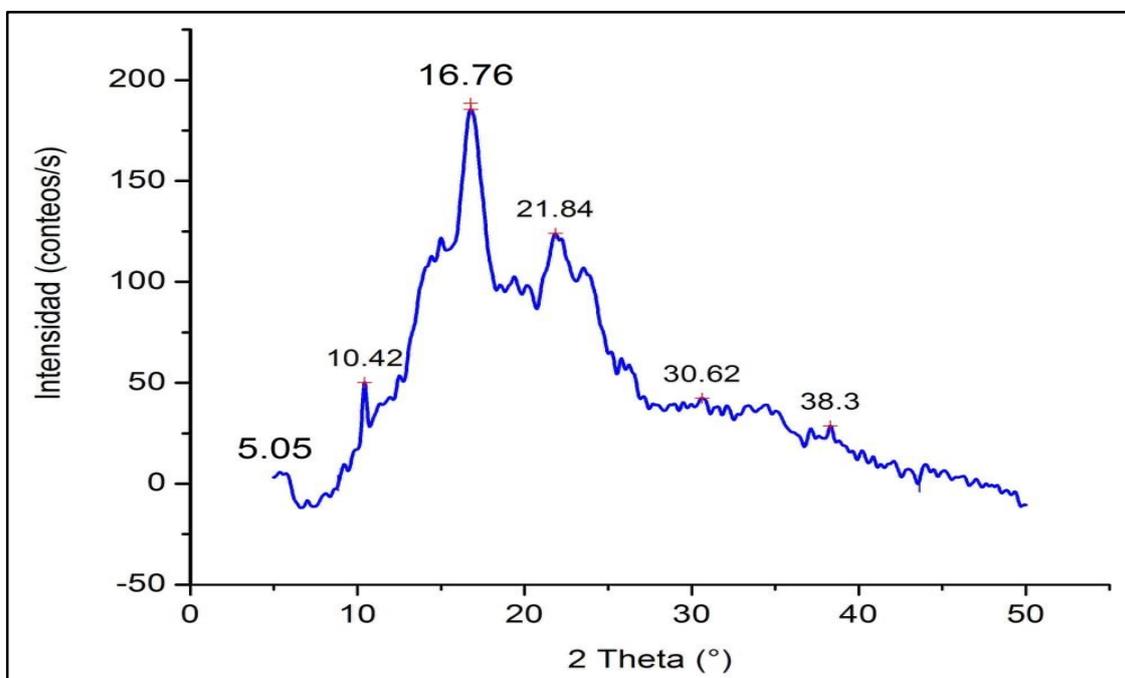


Figura 13. Difractograma de rayos X (DRX) de almidón nativo de oca con sus respectivos picos de intensidad. Nota: Picos.= transmitancia tiene que ver con la cristalinidad.

Según, Maria & Wenzel (2006, p. 539), el grado de claridad que presentan los geles de almidones está influenciado directamente por el grado de hinchamiento y el tamaño del granulo. Debido a que claridad de los geles de almidón, este es uno de sus atributos importantes y ha sido reportado como uno de los parámetros claves que influyen directamente sobre las características de brillantez y opacidad del color de los productos en los que se empleen como espesantes. Por tanto, los almidones de las leguminosas podrían ser incorporados a sistemas alimenticios como, mermeladas, pastas de frutas, rellenos para pasteles, etc (Maria & Wenzel, 2006, p. 540).

Por otro lado Vargas, Martínez, & Velezmoro (2016) “La claridad en los almidones es un parámetro clave para determinar la aplicación de los almidones en productos alimenticios ya que este puede generar brillantez u opacidad al producto final” (p. 227). Además de ello la claridad de los delos geles de almidón es una cualidad que es importante para la aplicación de productos como: aderezos de ensaladas y productos de confitería.

4.7. Determinación de las propiedades de la pasta (RVA)

En la Figura 14 y la Tabla 19 se observan los resultados de viscosidad del almidón de oca con el que se trabajó y otros almidones de tubérculos andinos. Como se observa, la temperatura de pasta fue de 52.7°C, menor a temperaturas de otra variedad de Oca, olluco, mashua y pinhao de 64, 67, 65, 68, respectivamente, en esta fase indica su proceso de viscosidad y a medida que los gránulos comienzan a hincharse en este punto, los polímeros con pesos moleculares más bajos, particularmente moléculas de amilosa, comienzan a lixiviarse de los gránulos (Thomas & Atwell, 1999).

El dato de 5680 cP indica la cantidad máxima de viscosidad que llega a obtener el almidón de oca a una temperatura próxima de 94°C como se mencionó en este punto se obtiene una viscosidad máxima durante el pegado cuando hay una mayoría de gránulos intactos completamente hinchados y la alineación molecular de cualquier polímero solubilizado todavía no se ha producido dentro del campo de cizalla del instrumento. Durante la fase de mantenimiento a alta temperatura (por ejemplo, 95 ° C [203 ° F]), los gránulos comienzan a descomponerse, la solubilización del polímero continúa y la alineación molecular ocurre dentro del campo de corte del instrumento; es decir, el eje comienza a "cortar el mismo camino" a través de la pasta (Thomas & Atwell, 1999, p. 21).

En la Tabla 19 se muestra las propiedades de pasta obtenidas por calentamiento por la técnica del RVA que también va relacionada con la siguiente figura.

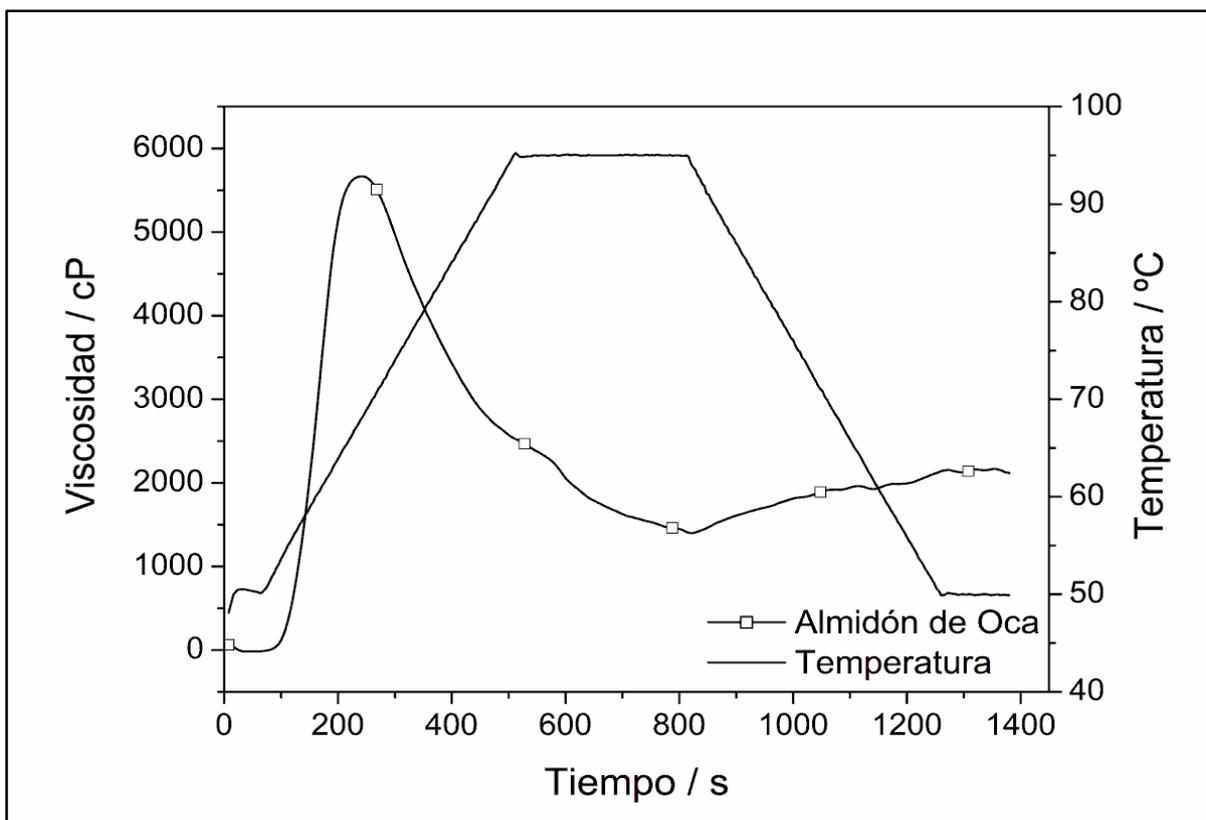


Figura 14. Resultados de viscosidad del almidón de oca de variedad K'ellu kamusa.

La viscosidad mínima a la que llegó el almidón de oca de la variedad k'ellu kamusa fue de 1354 cP. En seguida se registra una caída en la viscosidad durante la fase de enfriamiento, y los polímeros solubilizados de amilosa y amilopectina comienzan a reasociarse, y se rastrea otro aumento en la viscosidad donde el valor fue de 4326 cP todo esto nos indica la cantidad de viscosidad final a la que el almidón ha llegado después del punto máximo de viscosidad. Autores mencionan que este segundo aumento en la viscosidad se conoce generalmente como retroceso. En general, para aquellos almidones que pueden gelatinizarse fácilmente y pegarse en un viscoamilógrafo mientras más amilosa contienen, y por ende es más espectacular esta etapa de retroceso. Dependiendo del tipo de almidón (por ejemplo, la fuente botánica y si es un almidón nativo o ha sido modificado químicamente), el nivel de sólidos, el pH de la lechada y el régimen de calentamiento, varios perfiles de gelatinización o pegado pueden ser generados o cambiantes (Thomas & Atwell, 1999, p. 21).

La retrogradación es especialmente 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 hidrógeno que las moléculas de amilopectina de tipo “tumbleweed” más grandes. 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 salsas y salsas que están formuladas con almidón que contiene amilosa no modificada (Thomas & Atwell, 1999, p. 28).

Debido a que el proceso de retrogradación se amplifica cuando se enfría el almidón calentado, la sinéresis es más frecuente en productos refrigerados y congelados. La estabilidad de congelación – descongelación, medida por el grado de sinéresis, o el agua liberada, es una consideración importante para los almidones de alimentos y debe tenerse en cuenta cuando se formulan alimentos refrigerados y congelados. También es importante recordar que los almidones de diferentes fuentes botánicas se retrogradan a ritmos diferentes y en diferentes grados. Por ejemplo, el almidón de tapioca con aproximadamente 19% de amilosa se solidifica con el tiempo, mientras que el almidón de maíz con alto contenido de amilosa (es decir, almidón obtenido de una planta híbrida de maíz que contiene aproximadamente más del 40 % de amilosa) se solidifica en un gel relativamente firme rápidamente después de ser calentado y enfriado.

El valor de 738 cP representa la cantidad de viscosidad que recupera el almidón, luego la viscosidad final que es 2092 cP, representa la viscosidad final que el almidón logra generar, ya que luego de este proceso, el almidón ya no genera más viscosidad. Finalmente el último dato que es el tiempo de pico que se muestra en la Tabla 16 que es 244.2 segundos (4.44min), es la que da a conocer el tiempo de inicio a fin que demora en generar la viscosidad, hasta llegar al límite máximo de viscosidad que muestra el almidón de oca de la variedad K'ellu kamusa. A partir de la viscosidad mínima, surge o se genera el proceso de la retrogradación, se puede notar claramente que la viscosidad del almidón de oca, también investigaciones realizadas por (Yamani et al., 2013), con almidones de otros tubérculos, muestran que se genera la retrogradación en almidones.

El hecho de que las pastas de la oca y la mashua presentaran un alto poder de hinchamiento a bajas temperaturas podría indicar un menor grado de asociación en las zonas amorfas de los gránulos de almidón y por lo tanto, se produciría una menor resistencia al hinchamiento. La pasta de almidón de oca tuvo el menor tiempo de formación de pico cuando se compara con almidones de olluco y mashua; después de alcanzar la viscosidad máxima, su ruptura fue abrupta (7056.25cP almidón de oca y 4326 cP para el almidón de oca variedad kélly kamusa), mostrando menos resistencia (756.33 cP y 1354 para el almidón de oca variedad kélly kamusa) y una mayor tendencia a la retrogradación o sinéresis según (Yamani et al., 2013). Por otro lado cabe recalcar que la baja temperatura de pegado de los almidones, puede estar asociado también con un bajo contenido de amilosa como lo menciona el autor (Da Costa et al., 2013, p.175).

Generalmente a este conjunto de resultados los almidones tienen una estabilidad débil frente a los procesos mecánicos demasiado fuertes o mecanismos bruscos. Los niveles podrían estar asociados con un mayor grado de colapso de los gránulos de almidón hinchados (baja viscosidad), que corresponden a una mayor liberación de almidón solubilizado con capacidad de reasociación durante la fase de enfriado. Con la pasta de almidón de oca de otra variedad, el alto nivel de degradación observado condujo a una viscosidad final reducida (2282.00 cP) y el almidón de oca de la variedad kélly kamusa mostro una viscosidad final de 2092 cP en comparación con olluco y mashua. Sin embargo, esta pérdida de viscosidad de la pasta no fue superada por un aumento en la viscosidad resultante de la retrogradación (retroceso), un comportamiento que también se observó en los almidones de olluco y mashua. El almidón de olluco por ejemplo presentó la viscosidad final más alta, mostrando una mayor estabilidad a la agitación y la cocción. Por otra parte Miles et al. (1985) relacionó este hecho con la agregación o asociación de moléculas de amilosa. El hecho de que el almidón de mashua presentó un retroceso bajo, podrían estar relacionados con la presencia de cadenas de amilosa con alto peso molecular y por ende las pastas de almidón presentaron más dureza, gomosidad y masticabilidad en comparación con el almidón de olluco. La firmeza de la pasta se origina principalmente en el proceso de retrogradación en las pastas de almidón, que se asocia con la sinéresis y cristalización de la amilopectina (Yamani et al., 2013, p. 461).

Tabla 19

Resultados de propiedades de pasta de RVA.

Tipo de almidón	Temperatura de pasta (°C)	Viscosidad de pico (cP)	Viscosidad mínima (cP)	Descomposición (cP)	Retrogradación (cP)	Viscosidad final (cP)	Tiempo de pico (s)
Almidón de oca variedad K'ellu kamusa (a)	52,7	5680	1354	4326	738	2092	244.2
Almidón de oca (b1)	Temperatura de pasta (°C)	Viscosidad de pico (cP)	Viscosidad mínima (cP)	Descomposición (cP)	Retraso (cP)	Viscosidad final (cP)	Tiempo de pico (s)
	63.56±0.58	7715.25±41.98	756.33±59.35	7056.25±95.45	1,664.00±50.74	2282.00±51.48	278±0.07
Almidón de Olluco (b2)	Temperatura de pasta (°C)	Viscosidad de pico (cP)	Viscosidad mínima (cP)	Descomposición (cP)	Retraso (cP)	Viscosidad final (cP)	Tiempo de pico (s)
	67.04±0.10	7782.75±10.66	2186.25±42.73	5585.25±29.68	442.50±21.14	2638.00±48.34	342±0.07
Almidón de mashua (b3)	Temperatura de pasta (°C)	Viscosidad de pico (cP)	Viscosidad mínima (cP)	Descomposición (cP)	Retraso (cP)	Viscosidad final (cP)	Tiempo de pico (s)
	65.20±0.37	6202.00±140.71	2203.75±21.48	3899.00±73.78	314.33±30.17	2541.00±51.70	318±0.07
Almidón de pinhao (c)	Temperatura de pasta (°C)	Viscosidad de pico (cP)	Viscosidad mínima (cP)	Descomposición (cP)	Retraso (cP)	Viscosidad final (cP)	Tiempo de pico (s)
	68.13±0.16	3011.60±1.22	-	1840.59±1.23	1354.47±3.93	2530.48±1.84	366.00±3.93

Nota: La presente tabla muestra resultados de la viscosidad del almidón de oca de la variedad K'ellu kamusa, más otros almidones de tubérculos, cada uno de ellos muestra un código con orden alfabético lo cual indica las fuentes de donde se seleccionó resultados relacionados a la viscosidad, que en seguida son: fuente propia (a); (Yamani et al., 2013) (b1, b2 y b3) y (Da Costa et al., 2013) (c).

En la Tabla 19 también se puede observar los resultados de viscosidad tubérculos que también son fuentes de almidones, entre ellos la oca, olluco y mashua. Por ejemplo la temperatura de pasta para estos fueron de 63.56; 67.04 y 65.20 °C, la viscosidad de pico 7725.25; 7782.75 y 6202.00 cP, la viscosidad mínima fue de 756.33; 2186.25 y 2203.75 cP, la descomposición fue de 7056.25; 5585.25 y 3899.00 cP, los resultados de retraso fueron 1664.00; 442.50 y 314.33 cP, en cuanto a viscosidad final los resultados fueron: 2282.00; 2638.00 y 2541.00 cP y finalmente el tiempo de pico fue de: 278; 342 y 318 segundos. Se puede ver que el almidón de oca de la variedad k'ellu kamusa requiere menos tiempo para llegar a su punto de viscosidad máxima y la temperatura que el almidón de oca requiere también es menor (63.56°C) a la de los almidones de olluco (67.04°C) y mashua (65.20 °C), además de esto cabe resaltar que las bajas temperaturas de formación de pasta en almidones de oca y mashua, presentaron un alto poder de hinchamiento, que podrían indicar un menor grado de asociación en las zonas amorfas de los gránulos de almidón y, por lo tanto, menor resistencia al hinchamiento.

Los resultados ya mostrados nos dan a conocer que la diferencia en cuanto a la viscosidad, temperaturas de pico, temperatura de pasta, viscosidad mínima, viscosidad final y tiempo de la formación del pico de viscosidad entre los almidones de oca, olluco y mashua, son similares a nuestros datos lo que indicaría que no son muy lejanos, si bien en cierto la viscosidad es un punto muy importante en el almidón y se ve claramente que los almidones de tubérculos son altos, que pueden llegar de 5000–7000 cP, a comparación de almidones de otras especies como semillas, cereales y oleaginosas, la viscosidad es un factor que influye en la aplicación de productos industrializados. Es decir es más ventajoso hacer el uso de un almidón con un alto porcentaje de viscosidad ya que se requeriría menos cantidad de almidón para el uso de productos industrializados y así formaría una mayor viscosidad, a que se use más cantidad de almidón y se genere la misma viscosidad que del almidón de otros tubérculos.

Las características de plastificación están influenciadas por un gran número de factores, entre los cuales destacan el tamaño de los gránulos, la relación amilosa/amilopeptina, sus características moleculares y las condiciones de procesos térmicos para lograr la gelatinización. Las diferencias en las propiedades de plastificación (principalmente en la viscosidad alcanzada) por los almidones de las leguminosas no se debe a esas características, si no al mayor contenido de amilopeptina del almidón de frijol chino y pallar y esto se debe generalmente a su estructura más ramificada, tal como indicaron los resultados de (Maria & Wenzel, 2006, p.538). Por otro lado la alta estabilidad al proceso de calentamiento y enfriamiento, con esfuerzo cortante

continuo presentada por los almidones generalmente de leguminosas que reflejan valores de fragilidad y asentamiento, indica su posible empleo en productos que requieran de esterilización, como alimentos para bebés, ya que la mayoría de los almidones comerciales nativos presentan una alta disminución de su viscosidad en este tipo de procesos, como es el caso del almidón de yuca, el cual ya se emplea comercialmente en América latina y Asia (Maria & Wenzel, 2006, p. 539).

El origen botánico también se refleja en las propiedades reológicas del gel de almidón, por ejemplo en una serie de almidones de maíz con distinta cantidad de amilosa, la temperatura de formación de la pasta se incrementa a medida que aumenta el contenido en amilosa. La viscosidad máxima tuvo el almidón de trigo, mientras que el almidón con alto contenido de amilosa mostró la máxima estabilidad al tratamiento de cizalla, otros almidones con un bajo contenido de amilopectina, mostraron resultados similares, por otro lado el gel de almidón de trigo con un bajo contenido de amilopectina mostro la mayor resistencia y rigidez. El almidón de trigo se expande rápidamente empleando menos tiempo en alcanzar su máxima viscosidad que los almidones normales, aunque proporciona una matriz de gel más débil (V. Dendy & J. Dobraszczyk, 2003, p. 94).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENRACIONES

5.1. Conclusiones

El rendimiento del almidón de oca fue de 26.49% para el primer tratamiento que fue sometido a un tiempo de 5 minutos de molienda, para el segundo tratamiento al que la oca fue sometida a una molienda de 10 minutos el rendimiento fue de 27.04% y finalmente para el tercer tratamiento al que la oca fue sometida a 15 minutos de molienda, el rendimiento fue de 28.39%, En cuanto a la extracción de almidón de oca, al realizar una variación de tiempo en la molienda de los tubérculos, este no fue demasiado influyente o significativo en cuanto al rendimiento del almidón.

Los resultados en cuanto a la microscopia electrónica de barrido, los almidones de oca presentaron formas elípticas, ovaladas y alargadas con superficies lisas, algunas de ellas son pequeñas y presentan formas redondas pero deformes. Y en cuanto a los diámetros, los almidones de oca presentaron diámetros de $29.87\mu\text{m}$ con una desviación estándar de $12.91\mu\text{m}$ ($n=10$) con 10 números de muestra.

Las propiedades térmicas por Termogravimetría y termogavimetria derivada (TG/DTG) del almidón, mostraron que en la primera zona (primera curva) ocurre una perdida inicial de masa que fue de -1.098 mg equivalente a un -11.99% a un rango de temperatura de 33.41°C a 128.96°C , representado con un pico máximo a una temperatura de 67.49°C . Seguidamente se observó que en la segunda zona (segunda curva) ocurre una estabilidad, donde se pierden -6.703 mg igual a -73.225% de pérdida de masa a una temperatura que varía de 128.36 y 229.71°C con un pico máximo a una temperatura de 277.27°C , y finalmente apreciamos que en la tercera zona (tercera curva) tiene una pérdida de masa de -1.642 mg equivalente a un -17.927% a una variación de temperatura de 360°C a 536.88°C con un pico representativo a una temperatura de 464.17°C , estos resultados nos indicarían que su posible aplicación se basaría en productos que no son sometidos a altas temperaturas mayores a 229.71°C como: productos lácteos, salsas, helados, entre otros.

La Calorimetría diferencial de barrido (DSC) mostró que la temperatura de gelatinización del almidón de oca empieza 49.95 ± 0.06 que se conoce como temperatura inicial (T_0), la temperatura de gelatinización o temperatura pico representativo fue de 55.50 ± 0.17 (T_P)

), y por último la temperatura final fue de 66.89 ± 0.03 (T_C), se ve claramente que el almidón de oca a una variación de temperatura de $49 - 55^\circ\text{C}$ aproximadamente (7°C) el almidón ya se gelatiniza y la temperatura de transición y entalpía de gelatinización del almidón de oca fue 11.04 ± 0.59 (ΔH_g (J/g^{-1})), esto indica que el almidón de oca requiere una baja cantidad de energía y calos para llegar a la gelatinización, a comparación de otros almidones, y esto beneficiaría en cuanto a costos del producto, si se trabajara con almidón de oca pero en grandes cantidades.

El difractograma (DRX) del almidón de oca muestra picos 6 picos de fuerte intensidad para los ángulos 2-theta (2Θ): 5.05° , 10.42° , 16.76° , 21.84° , 30.62° y 38.3° , lo cual corresponde al tipo B típico de almidones de tubérculos en cuanto a la calidad de brillantes que este ofrece, no es intenso por lo que su posible aplicación sería en productos como: néctares, helados cremosos, cremas o productos que no requieran una presentación de aspecto brillante.

Las propiedades de la pasta (RVA) fueron las siguientes: La temperatura de pasta fue de 52.7°C este resultado indica la temperatura del almidón a la cual inicia su proceso de viscosidad, el dato de 5680 cP indica la cantidad máxima de viscosidad que llega a obtener el almidón de oca a una temperatura próxima de 94°C , la viscosidad mínima fue de 1354 cP es decir esta es la viscosidad mínima a la que llegó el almidón de oca con que se trabajó, el dato de 4326 cP nos indica la cantidad de viscosidad que este pierde luego de haber llegado al punto máximo de viscosidad, el dato de 738 cP representa la cantidad de viscosidad que recupera el almidón, luego la viscosidad final que es 2092 cP, representa la viscosidad final que el almidón genera, ya que luego de este proceso, el almidón ya no genera más viscosidad, finalmente el último dato que es el tiempo de pico que se muestra en la tabla 16 que es 244.2 segundos (4.44min), es la que da a conocer el tiempo de inicio a fin que demora en generar la viscosidad, hasta llegar al límite máximo de viscosidad que muestra el almidón de oca de la variedad K'ellu kamusa, por lo que cabe recalcar que esta viscosidad indica que puede favorecer a la textura de productos que requieran viscosidad y su posible aplicación sería en productos como: néctares, productos lácteos, helados, embutidos y salsas.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar estudios de las caracterizaciones de almidones diferentes variedades de oca, y así realizar las comparaciones.
- Se recomienda que realizar más estudios de la identificación de las propiedades morfológicas, reológicas y térmicas de almidones de productos andinos propios de nuestro Perú.

- Se recomienda aplicar otros métodos para la extracción de almidón.
- Se recomienda poder realizar más análisis a los almidones.

REFERENCIAS

- (ICMA), I. d. (2016). Consejo superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Obtenido de Consejo superior de Investigaciones Científicas (CSIC):
<https://www.unizar.es/icma/divulgacion/pdf/pdfdifraccionrayos.pdf>
- Anderson, R., & et al. (1969). Gelatinization of corn grifts by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 4-12.
- BCRPD. (2017). BCRPData. Obtenido de Banco Central de Recerva del Peru:
<https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/anuales/resultados/PM05078AA/html>
- Bello Perez L, C.-R. S.-M.-F.-A. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. agrociencia , 169-180.
- Dumar Quintero Castaño, V., Carlos Lucas Aguirre, J., & Natalia Álzate Carvajal, E. (2012). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto. *Ingenium* , 17-32.
- Edwards, W. (2000). *La ciencia de las golocinas-The science of sugar confectionery* . Zaragoza : ACRIBIA, S.A. .
- INEI. (2014). Compendio Estadístico Peru - Agrario . Obtenido de Compendio Estadístico Peru :
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1173/cap12/cap12.pdf
- Mac Masters, M. M. (1964). Microscopic techniques for determining starch granule properties. En L. R. Whistler, J. R. Smith, & N. J. BeMiller, *Methods in Carbohydrate Chemistry* (págs. p. 233-240.). London: Academic Press.
- Maria Lajolo , F., & Wnzal de Menezes, E. (2006). *Carbohidratos en alimentos regionales iberoamericanos* . Sao Paulo: Silvana Biral.
- Maria Lajolo, F., & Enzel de Menezes , E. (2006). *Carbohidratos en alimentos Regionales Iberoamericanos* . Sao Paulo: Edusp.
- Melo Ruiz , V., & Cuatmazi Tapia , O. (2007). *Bioquímica de los procesos metabólicos*. Barcelona : Editoria Reverte, S.A. .
- NOM-035-SSA1, N. O. (1993). *Bienes y servicios quesos de suero. especificaciones sanitarias* . Mexico .
- Sheldon , R. (02 de Noviembre de 2013). *Cento Internacional de la Papa*. Obtenido de Cento Internacional de la Papa: <http://cipotato.org/press-room/blogs/la-creciente-importancia-de-los-tuberculos-y-raices-andinos>.
- V. Dendy , D. A., & J. Dobraszczyk, B. (2003). *Cereales y Productos Derivados* . España : ACRIBIA, S.A. .

- Vaclavik , C., & Christian , E. (2002). *Fundamentos de ciencia de los alimentos.* . New York : Acribia 2002.
- Abegunde, O. K., Mu, T. H., Chen, J. W., & Deng, F. M. (2013). Physicochemical characterization of sweet potato starches popularly used in Chinese starch industry. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.03.005>
- Alberto Edel Leon, & Rosell, C. M. (2007). *De tales harinas, tales panes: Granos, Harinas y productos de panificación en Iberoamerica.* (Hugo Baez, Ed.) (1ra edición). Cordoba-Argentina. <https://doi.org/664.752.3>
- Amaguaña, J. E. P., & 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.
- Andrea C. Bertolini. (2010). *Starches Characterization, Properties, and Applications.* (Andrea C. Bertolini, Ed.). Boca Raton.
- Augusto Pumacahua Ramos, Ivo Mottin Demiate, Egon Snichtzler, Ana Cláudia Medin, Javier Telis Romero, & José Francisco Lopes Filho. (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>
- Avila, M. (2002). Incorporacion del rapid visco analyser (RVA) para la determinacion de la calidad culinaria de arroz. *ResearchGate*, 7, 1–5. Retrieved from <http://www.researchgate.net/publication/275275256%0AIncorporación>
- Bernabé Meza, B., Magali, Y., Cancho Mallma, B., & Lesli, F. (2017). Caracterización físicoquímica, fitoquímica y funcional de la harina de khaya y oca (*Oxalis tuberosa*) para uso industrial. Universidad Nacional del Centro del Perú . Retrieved from <https://www.mendeley.com/viewer/?fileId=5ad5ab31-207d-5509-23fb-966291b09096&documentId=5ea4cfc8-5c45-3a1c-a889-f5a59e184acf>
- C., O. H. P., Castañeda, J. C., & Ortiz, C. armando. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Acta Agronomica*, 4, 289–295.
- Carvajal, E. N. Á., Castaño, V. D. Q., & Aguirre, J. C. L. (2013). DETERMINACIÓN DE las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto (*Erythraea*

- Edulis Triana Ex Micheli). *TEMAS AGRARIOS*, 18, 21–35. Retrieved from <http://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/viewFile/714/830>
- Christian, E., & Vaclavik, C. (2002). *Fundamentos de ciencia de los alimentos* (2002, Acri). New York. Retrieved from <http://www.casadellibro.com/libro-fundamentos-de-ciencia-de-los-alimentos/9788420009766/838151>
- Cobana, M., & Antezana, R. (2007). Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca. *Revista Boliviana de Química*, 24(1), 77–83.
- Colman, T. A. D., Demiate, I. M., & Schnitzler, E. (2014). The effect of microwave radiation on some thermal, rheological and structural properties of cassava starch. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. <https://doi.org/10.1007/s10973-012-2866-5>
- Da Costa, F. J. O. G., Leivas, C. L., Waszczynskyj, N., De Godoi, R. C. B., Helm, C. V., Colman, T. A. D., & Schnitzler, E. (2013). Characterisation of native starches of seeds of *Araucaria angustifolia* from four germplasm collections. *Thermochimica Acta*, 556, 172–177. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2013.04.030>
- Davis, S. I. R., & Erika, Y. H. P. (2012). *Evaluación de la calidad de l almidón obtenido de tres variedades de papa (Solanum tuberosum) cultivadas en la provincia de Jauja*. Universidad nacional del centro del Perú facultad de ciencias aplicadas. Retrieved from [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1965/Soto Izarra - Yantas Huaynate.pdf?sequence=1](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1965/Soto%20Izarra%20-%20Yantas%20Huaynate.pdf?sequence=1)
- Delgado, A. P. A., & Santander, C. B. (2013). *Obtención y Caracterización de Almidones Nativos Colombianos Apara su Evaluación como Posibles alternativas en la Industria Alimentaria. Almidones Nativos colombianos*. Universidad de Cartagena.
- Dergal, S. B. (2012). *Química de los Alimentos*. (M. C. G. L. Ballesteros, Ed.) (5ta edición). Mexico: Pearson.
- Dumar Quintero Castaño, V., Carlos Lucas Aguirre, J., & Natalia Álzate Carvajal, E. (2012). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto. *Ingenium*.
- Elena, M., Marroú, L., Ydilbrando, M., González, V., Elizabeth, S., & Flores, P. (2011). Composición química de “ oca ” (*Oxalis tuberosa*), „ arracacha “ (*Arracaccia xanthorrhiza*) y „ tarwi “ (*Lupinus mutabilis*). Formulación de una mezcla base para

- productos alimenticios. *Revista Venezolana de Ciencia Y Tecnologia de Alimentos.*, 2(2), 239–252. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Maria_Leon_Marro/publication/299264569_Composicion_quimica_de_oca_Oxalis_tuberosa_arracacha_Arracaccia_xanthorriza_y_tarwi_Lupinus_mutabilis_Formulacion_de_una_mezcla_base_para_productos_alimenticios/links/56eff9a08a
- Elizabeth Fiorela Peña Carrasco. (2017). *Extracción y caracterización fisicoquímica 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>
- Fairlie, T., Bermudez, A. M., & Holle, M. (1999). *Raíces y tubérculos andinos Avances de Investigacion I* (Primera ed). Lima-Peru.
- Fairlie, T., Morales, M., & Holle, M. (1999). Raíces y tubérculos andinos. Avances de investigación I. *Centro Internacional de La Papa Consorcio Para El Desarrollo Sostenible de La Ecorregion Andina 1999.*, 241p.
- Gisela del Carmen Hermosa Mendoza. (2013). *Caracterizacion de almidones de dos tuberculos andinos: isaño (Tropaeolum tuberosum R&P) y oca (Oxalis Tuberosa Mol)*. Universidad Nacional del altiplano. Retrieved from <https://www.mendeley.com/viewer/?fileId=3782273c-c9e6-6b83-7e58-ff9bdfb45db6&documentId=24c4466b-ef6f-3f79-a6fa-e660fd7d4ccb>
- Hernández Lauzardo, A. N., Méndez Montealvo, G., Velázquez Del Valle, M. G., Solorza Fera, J., & Bello Pérez, L. A. (2004). Isolation and partial characterization of Mexican Oxalis tuberosa starch. *Starch/Staerke*, 56, 357–363. <https://doi.org/10.1002/star.200300235>
- Hernández Medina, M., Torruco Uco, J. G., Chel Guerrero, L., & Betancur Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência E Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718–726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2015). Compendio estadístico Peru 2015, 5–80. Retrieved from

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1253/cap12/cap12.pdf

Laos, F. A. S., & Rivera, A. C. (2004). *Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (Tropaeolum tuberosum), oca (oxalis tuberosa), olluco (Ullucus tuberosus) para su aplicación tecnológica. Programa Cybertesis PERU*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Retrieved from http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/2588/1/Surco_lf.pdf

Lauzardo, A. N. H., Montealvo, G. M., Valle, M. G. V. del, Feria, J. Solorza, & Perez, L. A. B. (2004). Isolation and partial characterization of Mexican Oxalis tuberosa starch. *Starch/Staerke*. <https://doi.org/10.1002/star.200300235>

Mauricio, H., & Pinto, A. (2012). Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (dioscorea trifida) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados.

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. *Multiciencias*, 9(5), 115–125. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/904/90411687002.pdf>

Ortiz, V. C. C., & Barcia, C. C. G. (2012). “ *Análisis de Propiedades Térmicas durante Gelatinización en tres variedades de arroz INIAP aplicando el Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC)*.” Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil - Ecuador. Retrieved from <https://www.mendeley.com/viewer/?fileId=49e90106-497b-8ac1-4c7a-a5f732cd56ae&documentId=2dffcf5a-5e50-3998-bc19-80126b770a9a>

Ortiz, V. C. C., & Barcia, C. C. G. (2012). “*Análisis de propiedades termicas durante gelatinizacion en tres variedades de arroz INIAP aplicando en calorimetro diferencial de barrido (DSC)* “. Escuela Superior Politecnica del Litoral.

Oscar, H. P. C., Julio, C. C., Cesar Armando Ortiz, & César, A. O. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Acta Agronomica*, 64(4), 289–295. Retrieved from <https://www.mendeley.com/viewer/?fileId=1ca4a604-a327-d2f5-3ae6-265a016c3666&documentId=1d6e7dc0-ca11-36ec-89b4-645c94afd72f>

Pinto, H. M. A. (2012). *Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame*

variedad blanco (dioscorea trifida) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados. Universidad Nacional de Colombia.

- Rached, L. B., De Vizcarrondo, C. A., Rincón, A. M., & Padilla, F. (2006). Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 56(4), 375–383. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Mariela_Rincon/publication/237354653_Evaluacion_de_harinas_y_almidones_de_mapuey_Dioscorea_trifida_variedades_blanco_y_morado/links/00b4952643d59f18f2000000/Evaluacion-de-harinas-y-almidones-de-mapuey-Dioscorea-trifida
- Roberto Merino, Carballo, J., Vargas, F., Ortiz, N., Vargas, P., Rodriguez, E., ... Vargas, D. (2003). *Catalogo de variedades locales de papa y oca de la zona de Candelaria.* (Ximena Candima; Rhimer Gonzales; Juan Almanza; Wilman Garcia; Franz Terrazas; Maria Luisa Ugarte; Rene Gomez; Antonio Gandarillas; anabelle Cartier; Roc Carnicer, Ed.) (5ta ed.). Bolivia. Retrieved from http://www.proinpa.org/tic/pdf/Papa/Variedades_de_papa/Catalogo_de_variedades_locales_de_papa_y_oca_de_la_zona_de_Candelaria.pdf
- Rocha, T. S., Demiate, I. M., & Franco, C. M. L. (2008). Características estruturais e físico-químicas de amidos de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). *Ciencia E Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 620–628. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/cta/v28n3/a18v28n3>
- Rodriguez, P., Martin, M. E. S., & Cruz, G. G. de la. (2001). Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. *Centro Investigación En Ciencia Aplicada Y Tecnología Avanzada Del I.P.N. Legaria 694, Col. Irrigación, 11500 México, D.F., aDepartamento de Física, Centro de Investigación Y Estudios Avanzados Del I.P.N. Apdo. Postal 14-740, 07000 México, D.F.*, 13, 61–65. Retrieved from <http://www.fis.cinvestav.mx/~smcsyv/supyvac/13/sv136101.pdf>
- ROMER, Á. R., & HOLGUIN, B. A. M. G. (2009). *Caracterizacion de los clones promisorios de papa (solanum tubersum subespecie andigenum) por su potencial para la produccion de almidones nativos.* Universidad de la Salle.
- Ruiz, E. E. C. (2010). "Evaluacion nutricion de la oca (*oxalis tuberosa sara-oca*) fresca, endulzada y deshidratada en secador de bandejas". *Tesis de grado previa obtencion del titulo de bioquimico farmaceutico.* Escuela Superior Politecnica de Chimborazo,

Riobamba - Ecuador.

- Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guia de campo de los cultivos andinos*. (Cadmó Rosell & O. de las N. U. para la A. y la Alimentación., Eds.), *Origen de las plantas cultivadas en los andes* (Primera ed). Lima - Peru. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/010/ai185s/ai185s.pdf>
- Thomas, D. J., & Atwell, W. A. (1999). *Eagan Press Handbook Series Starches* (American A). Minnesota - USA. <https://doi.org/98-71475>
- Tomas Tovar Benitez. (2008a). *Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento; Pachuca de soto - Hidalgo*. Retrieved from [http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/508/Caracterizacion morfológica y termica almidon de maiz.pdf;jsessionid=B8DEBC7EE3760BABC5C386D49C702D9?sequence=1](http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/508/Caracterizacion%20morfologica%20y%20termica%20almidon%20de%20maiz.pdf;jsessionid=B8DEBC7EE3760BABC5C386D49C702D9?sequence=1)
- Tomas Tovar Benitez. (2008b). *Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (zea mays l) obtenido por diferentes métodos de aislamiento*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Retrieved from <https://www.mendeley.com/viewer/?fileId=7272293c-f48f-e061-1075-9e6394b85386&documentId=7d96c7e9-284e-3fa5-a410-418c6133f3d2>
- Yamani, B. V., Sanabria, G. G. R., & Filho, F. F. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* molina), olluco (*Ullucus tuberosus* caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* ruiz & pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(3), 453–464. <https://doi.org/10.1590/S1984-82502013000300007>
- Zhang, L., Li, G., Wang, S., Yao, W., & Zhu, F. (2017). Physicochemical properties of maca starch. *Food Chemistry*, 218, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.123>