

**Evaluación de las Características del Almidón de Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd*) de
Dos Variedades de Cundinamarca como una Posible Alternativa Tecnológica en la
Industria de Alimentos**

Deisy Liliana Corzo Riaño

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD

Programa de Ingeniería de Alimentos

Bogotá, Colombia

2018

**Evaluación de las Características del Almidón de Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd*) de
Dos Variedades de Cundinamarca como una Posible Alternativa Tecnológica en la
industria de alimentos**

Deisy Liliana Corzo Riaño

**Proyecto de investigación presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero de Alimentos**

Director (a):

MSc. Ruth Mary Benavides Guevara

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD

Programa de Ingeniería de Alimentos

Bogotá, Colombia

2018

Dedicatoria

Dedicado a mi hija Luciana Acosta. Por su paciencia, energía positiva, lindos consejos, apoyo y compañía en los largos días y noches frente al computador. Hijita hermosa, eres la mayor fuente de inspiración y superación en mi vida.

*"Si tienes que elegir entre lo fácil y lo difícil, recuerda siempre
que por lo general lo difícil es mucho más divertido".*

Samantha Cristoforetti

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a Dios por la vida y salud que me permitieron iniciar y culminar este proyecto. A mi querida madre Lolita, mi padre Joselín, mi amado esposo Henry y a la Sra. Fany por su apoyo en los momentos que los necesité; a mis sobrinos por ser un impulso en mi vida, mis hermanos y cuñados por enviarme sus buenos deseos.

Agradezco a mi directora de tesis profesora Ruth Mary Benavides por creer en mí desde el primer momento y a su apoyo constante. Al grupo de profesoras del proyecto PIE_G_04_18_ECBTI conformado por la Directora, la profesora Laura Reyes e Ibeth Rodríguez, al grupo de investigación GIEPRONAL y al semillero de investigación CITECAL, gracias por permitirme hacer parte del proyecto y acompañarme en este proceso. Especial agradecimiento a la finca Chamomillé y su propietaria la señora Gloria Quiroga por permitirme el ingreso y facilitar el acceso a la materia prima de la presente investigación.

Finalmente agradezco a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por permitirme hacer uso de los laboratorios en donde pude poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de los años que me he desempeñado como estudiante.

Resumen

En los últimos años, se ha evidenciado un crecimiento en la producción de quinua en Colombia. La importancia nutricional de este pseudocereal en la dieta de las poblaciones ha permitido el desarrollo de investigaciones visualizando su aprovechamiento para elaboración de diferentes productos usando como materia prima el almidón. El objetivo del presente trabajo se enfocó en la evaluación de las características tecnofuncionales del almidón de quinua de las variedades Aurora (VA) y Blanca Dulce de Jericó (VB) para identificar su aplicación tecnológica en la industria de alimentos. Inicialmente se realizó la extracción de almidón de las harinas de quinua de las dos variedades por método “*Water steeping*” y se evaluaron las siguientes propiedades: Humedad, temperatura de gelatinización (TG), poder de hinchamiento (PH), índice de solubilidad en agua (IS), índice de absorción de agua (IAA), estabilidad al congelamiento-descongelamiento (ECD) y viscosidad aparente (VAP). La variedad Aurora presentó diferencias significativas con relación a la variedad Blanca Dulce de Jericó en los siguientes parámetros: PH (VA 3.51 g/g \pm 0.12; VB 4.08 g/g \pm 0.03); IS (VA 1.09 \pm 0.15; VB 0.64 \pm 0.06); IAA (VA 3.50 \pm 0.12; VB 4.07 \pm 0.02); ECD (VA 38,54% \pm 0,16; VB 47,79% \pm 0,32) y VAP (VA 321 cP \pm 0,58 10 RPM; 215 cP \pm 0,75 20 RPM; VB 239 \pm 0,67 10 RPM; 159 cP \pm 0,75 20 RPM). Mientras que la TG no presentó diferencias significativas entre las variedades (73.33°C \pm 1.15), de igual manera la humedad (VA 12.45% \pm 0.07; VB 13.11% \pm 0.75). El PH, IAA y ECD fueron mayores en la variedad Blanca Dulce de Jericó. Los dos almidones pueden ser empleados en procesos que requieran temperaturas relativamente altas de cocción; y especialmente la variedad Blanca Dulce de Jericó puede ser utilizada en procesos alimenticios como espesante de bebidas.

Palabras clave: Caracterización, quinua, viscosidad, almidón, propiedades tecnofuncionales

Abstract

In recent years the quinoa has been a significant growth in its production in Colombia. The nutritional importance of this pseudocereal in the population diet has allowed researchers development, visualizing its use in the elaboration of different products using the starch quinoa as raw material. The objective of this work was focused on the evaluation of the techno-functional properties of the quinoa starch of the Aurora and Blanca Dulce of Jericó varieties to identify their technological application in the food industry. Initially, the quinoa starch to the both varieties was isolated by “Water steeping” method and the following properties were evaluated: % moisture, gelatinization temperature (TG), swelling power (PH), water solubility index (IS), water absorption index (IAA), freeze-thaw stability (ECD) and apparent viscosity (VAP). The Aurora variety presented significant differences compared to Blanca Dulce of Jericó in the following parameters: PH (VA 3.51 g/g \pm 0.12; VB 4.08 g/g \pm 0.03); IS (VA 1.09 \pm 0.15; VB 0.64 \pm 0.06); IAA (VA 3.50 \pm 0.12; VB 4.07 \pm 0.02); ECD (VA 38,54% \pm 0,16; VB 47,79% \pm 0,32) and VAP (VA 321 cP \pm 0,58 10 RPM; 215 cP \pm 0,75 20 RPM; VB 239 \pm 0,67 10 RPM; 159 cP \pm 0,75 20 RPM). While, the TG didn't present significant differences between both varieties. In the same way, the % moisture (VA 12.45% \pm 0.07; VB 13.11% \pm 0.75). The PH, IAA and ECD were higher in the Blanca Dulce of Jericó variety. Both starches can be used in processes that require relatively high temperatures of cooking and especially the Blanca Dulce of Jericó can be used in food processes as thickening agent in drinks.

Keywords: Characterization, quinoa, viscosity, starch, techno-functional properties

Contenido

1. Introducción.....	11
2. Objetivos.....	14
2.1. Objetivo general	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. Marco Referencial	15
3.1. La quinua.....	15
3.1.1. Historia de la Quinua en Latinoamérica y Colombia.....	15
3.1.2. Producción de quinua en la Región.	16
3.1.3. Estructura de la semilla y composición nutricional de la Quinua.....	17
3.2. Almidón.....	19
3.2.1. Estructura química del almidón.	19
3.2.2. Propiedades tecnofuncionales y fisicoquímicas.....	20
3.2.3. Usos del almidón en la industria.	22
3.2.4. Características tecnofuncionales de otros almidones empleados en la industria de alimentos.....	23
3.3. Antecedentes sobre caracterización almidones de quinua	24
3.4. Extracción y rendimiento del almidón de quinua.....	27
4. Materiales y metodología	28
4.1. Materia Prima.....	28
4.2. Extracción de almidón.....	28
4.3. Propiedades tecnofuncionales de los almidones	29
4.3.1. Determinación de la humedad.	29
4.3.2. Determinación de la Temperatura de Gelatinización.....	30
4.3.3. Determinación del Poder de hinchamiento, índice de solubilidad e índice de absorción de agua.	30
4.3.4. Determinación de la Estabilidad al congelamiento-descongelamiento.	31
4.3.5. Determinación de la viscosidad aparente.....	32
4.4. Metodología estadística.....	32
5. Resultados y Discusión.....	33
5.1. Porcentaje de rendimiento de los almidones.....	33

5.2. Propiedades tecnofuncionales de los almidones	33
6. Conclusiones.....	39
7. Recomendaciones	40
Referencias bibliográficas.....	42

Lista de figuras

Figura 1. Estructura longitudinal de un grano de quinua.....	18
Figura 2. Estructura de la amilosa y amilopectina.....	19
Figura 3. Organización de amilosa y amilopectina en el granulo de almidón.....	20
Figura 4. Diagrama de extracción de almidón de quinua.....	29
Figura 5. Apariencia de gel al 10% de almidón de quinua variedad Aurora.....	38
Figura 6. Gráfico de interacción variedad – viscosidad – velocidad deformación.....	38

Lista de tablas

Tabla 1. Composición de carbohidratos y valor calórico de la quinua vs otros cereales.....	18
Tabla 2. Composición nutricional del grano de quinua.....	18
Tabla 3 Características fisicoquímicas y tecnofuncionales de algunos almidones.....	24
Tabla 4. Porcentaje de rendimiento almidones.....	33
Tabla 5. Resultados análisis propiedades tecno funcionales y fisicoquímicas almidones.....	34
Tabla 6. Resultados viscosidad aparente almidones.....	37

1. Introducción

La quinua es un pseudocereal ampliamente cultivado en la cordillera de los andes en los países de Bolivia, Perú, Ecuador, Chile y en menor proporción en Colombia. Fue el sustento alimenticio de las comunidades indígenas. La quinua es llamada “grano de los incas”, y a partir de la conquista debido a la introducción de otros cereales este producto fue desplazado (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2015). Este alimento posee una capacidad de adaptación a diferentes climas con una respuesta bastante positiva a diversos factores abióticos.

La organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha catalogado a la quinua como un alimento promisorio de la humanidad, debido a sus propiedades benéficas y sus múltiples usos (Montoya, Martínez, y Peralta, 2005). De hecho, el año 2013 fue declarado “Año Internacional de la Quinua” por parte de la FAO. Dicha declaración surge en la iniciativa recopilada por Bolivia en el informe técnico “La Quinua, Cultivo Milenario para Contribuir a la Seguridad Alimentaria Mundial”. La declaración realizada por la FAO destaca a la quinua como un alimento con un contenido nutricional apreciable; además realiza un reconocimiento a las comunidades indígenas de los andes (Bojanic, 2011). A partir de 2013 algunas organizaciones han alentado a los países productores a desarrollar estrategias que impulsen su producción.

En diversas partes de Colombia se han desarrollado estrategias que impulsan el cultivo de quinua a pequeños productores, el taller “El Cultivo de la Quinua en Colombia y sus Perspectivas Futuras” desarrollado por Corpoica es un ejemplo de esto. Dicho taller busca fomentar el estudio y la investigación de la quinua a nivel nacional (Jager, 2015). Por otra parte se encuentra el “Proyecto Productivo de Seguridad Alimentaria con Quinua” impulsado en 2006

por la Gobernación de Cundinamarca que tiene como objetivo capacitar a los pequeños productores regionales buscando incrementar la producción de este producto (Gobernación de Cundinamarca, s.f.).

En cuanto a las agremiaciones, se han logrado establecer algunas como: la Federación Nacional de Quinua de Colombia y Cultivos Andinos, empresa sin ánimo de lucro que busca asociar a pequeños productores y realizar asistencia técnica; o la Asociación “Quinua Boyacá”, comunidad formada por familias en el departamento de Boyacá que busca realizar procesos de aprendizaje que permitan el manejo poscosecha, cosecha, procesamiento y comercialización de quinua; y finalmente Asoquinua Tenjana, organización conformada por mujeres que vieron en el cultivo de quinua una oportunidad para mejorar sus condiciones de vida (Gómez, 2015)

La quinua en Colombia hoy por hoy es un producto que cada vez causa mayor interés por parte de los entes y productores. Bien se sabe que es un producto versátil con una amplia utilización tanto del cereal como de sus derivados, dentro de los cuales se encuentran las harinas, saponinas y almidón, siendo este último objeto de interés del presente trabajo de investigación.

Ahora, es necesario dilucidar por qué el almidón es objeto de interés del presente proyecto y son muchas las razones. El almidón ha sido un carbohidrato fundamental en la dieta del ser humano desde la prehistoria y ampliamente utilizado en la industria. Después de la celulosa es el polisacárido más importante a nivel comercial. Este compuesto ha sido una significativa fuente de energía debido a su gran abundancia en las plantas. Durante las últimas décadas la tecnología de los almidones ha evolucionado, un sin número de productos derivados se han desarrollado; desde la glucosa, dextrinas, almidones modificados, entre otros se han convertido en la materia prima esencial en muchos procesos industriales (Badui, 2006). En Colombia, el almidón ha sido una materia prima ampliamente utilizada en la industria de alimentos, tanto en la elaboración de

productos de panadería, repostería, como de almidones modificados y jarabes. Gran parte de esta materia prima es importada, tanto el maíz del que se obtiene el almidón, como el mismo polisacárido. Alrededor del año 2015 Colombia importó cerca de 1,1 millones de toneladas de maíz, convirtiéndose en el séptimo país con mayor importación a nivel mundial (Delgado, 2015).

El presente trabajo es realizado con el propósito de impulsar la producción de quinua y extracción de almidón especialmente en Cundinamarca, permitiendo evaluar este último como una nueva alternativa tecnológica, teniendo en cuenta que la industria de almidón colombiana puede llegar a ser una opción para la manufactura de alimentos minimizando así la dependencia de las importaciones de almidón de maíz.

La reciente investigación pertenece al proyecto macro PIE_G_04_18_ECBTI cadena de alimentos, almidones nativos. Pretende comparar el almidón de dos variedades de quinua, Aurora y Blanca Dulce de Jericó producidas en Cundinamarca, con el objetivo de determinar cuál presenta mejor comportamiento.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar las características tecnofuncionales del almidón de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) de dos variedades de Cundinamarca como una posible alternativa tecnológica.

2.2. Objetivos específicos

- Estudiar la extracción del almidón de quinua en dos variedades de Cundinamarca mediante el método “Water Steeping”.
- Evaluar el comportamiento y propiedades tecnofuncionales del almidón extraído de dos variedades quinua.

3. Marco Referencial

3.1. La quinua

Nombre científico, *Chenopodium quinua Willd*, familia: *Chenopodiaceae*, Especie: Quinua.

La quinua es un pseudocereal originario de la cordillera de los andes, al igual que la papa fue la base de la alimentación de las comunidades andinas preincaicas e incaicas. La quinua se le llamaba “grano de los Incas”. Sin embargo, hay vestigios que esta existía miles de años antes que los Incas (3000-5000 a.c.). Algunos cronistas Españoles no encontraban valor a este cereal por lo que solían denominarlo como un alimento que “vale un bledo” por su parecido al bledo de España (mala hierba) (IICA, 2015).

3.1.1. Historia de la Quinua en Latinoamérica y Colombia.

La historia de la quinua en Latino América se remonta a tiempos ancestrales y su origen es motivo de debate ya que no se tienen registros exactos de este. Por lo tanto, es necesario citar varios planteamientos sugeridos por diferentes autores. Tapia y Fries (2007) establecen que su domesticación y el inicio de su cultivo se puede remontar entre 2000 y 3000 años atrás de acuerdo a hallazgos arqueológicos encontrados. De la misma forma aclaran que no está muy bien determinado el centro de origen de su cultivo. Algunas investigaciones conllevan a establecerlo alrededor del lago Titicaca. Otra hipótesis sustenta que el origen de la quinua es múltiple. De acuerdo a datos extraídos del Códice de Antonio Mendoza, Primer virrey de México (1535-1550) se establecían tributos a pagar por los 336 pueblos vasallos y dentro de dichos tributos se encontraba el *Chenopodium nuttalliae*, cereal muy similar a la Quinua. El hallazgo de semillas de Quinua en varios sitios del continente sustentan dicha hipótesis (Cristo, 2014). Por otra parte, Bernal, Villegas, Sandoval, Lache y Correa (2015) aluden a cronistas los cuales determinan la presencia de cultivos de quinua en Colombia. Por ejemplo, en 1560 Pedro Cieza de León

establecía que la quinua se cultivaba en las tierras altas entre las ciudades de Pasto y Quito. De la misma forma Alexander von Humboldt, naturalista alemán describe después de una visita realizada que:

Así como en Europa ha guiado la viña a los griegos, el trigo a los romanos, el algodón a los árabes y en América el maíz acompañó a los aztecas, la papa a los incas, la quinua fue de los habitantes de la antigua Cundinamarca (Bernal et al., 2015, p.4).

Durante muchas décadas en Colombia se ha buscado incentivar el cultivo de quinua. Algunos entes y profesionales han tratado de dar impulso a esta iniciativa. Desde el interés por parte del Doctor Restrepo, Embajador de Colombia en Lima en 1914 que se siente atraído por este cereal; pasando por un sin número de intentos de siembra de su semilla en diferentes partes de Colombia como Popayán, Alto de Rosas en inmediaciones del municipio de Sibaté, los municipios de Usaqué y Suba entre los años 1940 y 1950 como parte de un esfuerzo del Ministerio de Agricultura encabezado por los doctores Otoy y Pulgar (Cristo, 2014).

3.1.2. Producción de quinua en la Región.

Es bien sabido que el primer productor de quinua en el mundo es Perú. De acuerdo a datos estadísticos en la última década, este país ha aumentado su producción pasando de 29.867 toneladas en el año 2008 a 77.652 toneladas en el 2016. De igual forma la evolución de sus exportaciones ha aumentado de 2.133 toneladas en 2008 a 44.340 toneladas en 2016; siendo Estados Unidos su principal comprador (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2017).

Siguiendo a Perú se encuentra Bolivia quien se ha acogido de forma positiva al mercado cada vez más demandante de quinua y ha aumentado su producción de 27.735 toneladas en el año 2006 a 50.566 toneladas en el 2012. Sus exportaciones han presentado un avance significativo

con el tiempo ya que en 2005 exportaba 5.011 toneladas y alcanzó las 29.070 toneladas en 2012 (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2015).

En el caso de Ecuador al igual que los dos países anteriores la quinua ha representado un producto base de su producción y exportaciones. Pasó de 995 toneladas a 11.681 toneladas producidas entre los años 2009 y 2015 respectivamente. En cuanto a las exportaciones estas se han incrementado de 191,13 toneladas a 1.437,78 toneladas entre estos mismos años (Arias, 2017).

Con respecto a Colombia, es necesario resaltar que el cultivo en el pasado ancestral fue cuantioso. Hoy en día se cultiva principalmente en los departamentos de Boyacá, Cauca, Nariño y Cundinamarca (Montoya et al., 2005). De acuerdo a datos arrojados por el Ministerio de Agricultura, en 2007 habían 104 hectáreas cosechadas en todo el país y la producción de quinua estuvo alrededor de las 140 toneladas por año. Hacia el año 2015 La Gobernación del Cauca reportó un estimado de 760 hectáreas solo en ese departamento y 1.400 toneladas producidas. En cuanto a las exportaciones entre 2013 a 2014 se pasó de 28,6 toneladas a 130,1 toneladas respectivamente (Procolombia, 2015).

3.1.3. Estructura de la semilla y composición nutricional de la Quinua.

El grano de quinua es considerado una gran fuente de energía debido al contenido de almidón. Estructuralmente la quinua se diferencia de otros cereales por el germen y el endospermo que rodean el Perisperma rico en carbohidratos, estos primeros son ricos en proteínas y grasas (Jan, Panesar y Singh, 2017). En la figura 1, se presenta la estructura de forma longitudinal del grano de quinua.

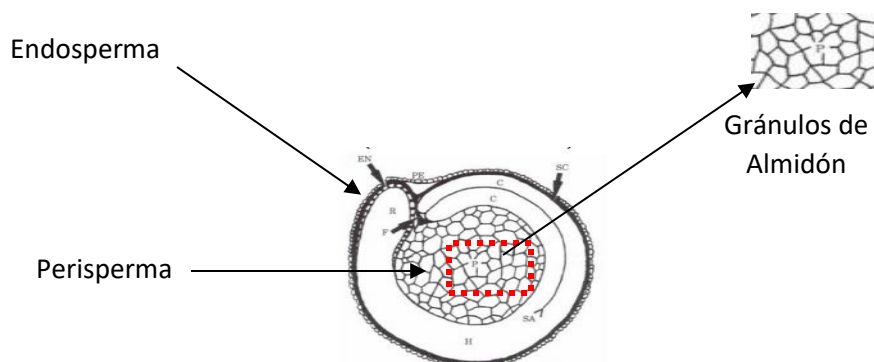


Figura 1. Estructura longitudinal de un grano de quinua

Fuente: (Bergesse et al., 2015).

La composición química de la quinua es de gran interés por su valor nutricional, de hecho se denomina un pseudocereal por su alto porcentaje de carbohidratos, especialmente almidón. En las tablas 1 y 2 se encuentra descrito el contenido de nutrientes presentes en el grano de quinua:

Tabla 1:

Composición de carbohidratos y valor calórico de la quinua vs otros cereales

Alimento	Agua (%)	Carbohidratos (%)	Cal/Kg
Quinua Dulce	9,13	66,04	3670
Maíz Común	10,60	74,40	3600
Trigo	14,00	72,10	3260
Soya	9,20	35,50	3980

Nota. fuente: (Cristo, 2014)

Tabla 2:

Composición nutricional del grano de quinua

Nutriente	%
Proteína	13,8
Grasas	6,10
Carbohidratos	58 – 68
Azúcares	5
Hierro	5,20
Fibra	6

Nota. Fuente: (Bojanic, 2011)

3.2. Almidón

El ser humano a lo largo de su historia ha consumido almidón el cual ha provenido de semillas, tubérculos, raíces. El arroz, fuente indispensable de almidón ha sido un producto ancestral, hallazgos arqueológicos han demostrado su cultivo desde hace 10000 años en la región de China (BeMiller y Whistler, 2009).

3.2.1. Estructura química del almidón.

El almidón es una mezcla específicamente de dos polisacáridos que tienen similitud, estos son la amilosa y la amilopectina; la primera es una cadena repetitiva de α -maltosa con un peso molecular por encima de un millón, suele adquirir una conformación tridimensional helicoidal en donde cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa. Por otra parte, la amilopectina se constituye de ramificaciones que le brinda un aspecto de árbol; dichas ramas se sostienen de un tronco central, el peso molecular es bastante alto hasta de 200 millones de daltones. Se estima que los almidones en general contienen entre 17-27% de amilosa y el resto de amilopectina (Badui, 2006). La figura 2 presenta la estructura de la amilosa y amilopectina.

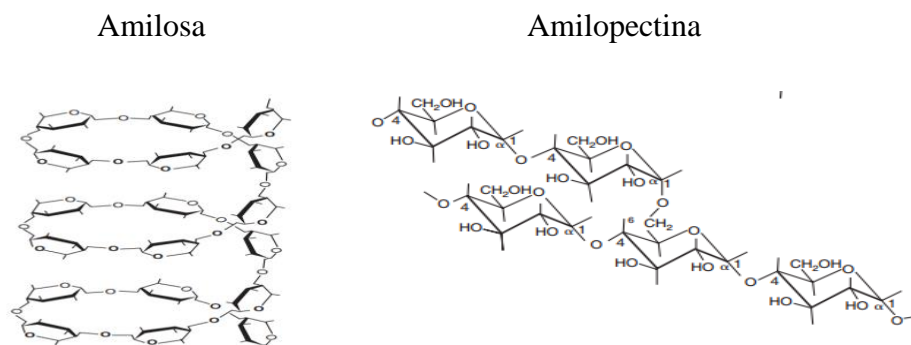


Figura 2. Estructura de la amilosa y amilopectina

Fuente: (Badui, 2006)

La amilosa y amilopectina definen las propiedades del almidón, se sabe que una alta concentración de amilosa produce geles fuertes pero propensos a la retrogradación. Por otra

parte, contenidos altos de amilopectina produce geles más estables pero a la vez más blandos. La configuración y enlace entre la amilosa y la amilopectina con presencia de fosfolípidos determinan propiedades como la viscosidad, estabilidad, transparencia, retrogradación (BeMiller y Whistler, 2009).

La configuración de la amilosa y amilopectina dentro del grano de almidón ha sido objeto de estudio y son varios los modelos presentados. Sin embargo hay uno que ha sido fuertemente aceptado ya que se ha podido demostrar por medio de estudios. Dicho esquema presenta a la amilosa en la parte externa del granulo y la amilopectina en su parte interna entrelazadas. Este modelo se encuentra representado en la figura 3.

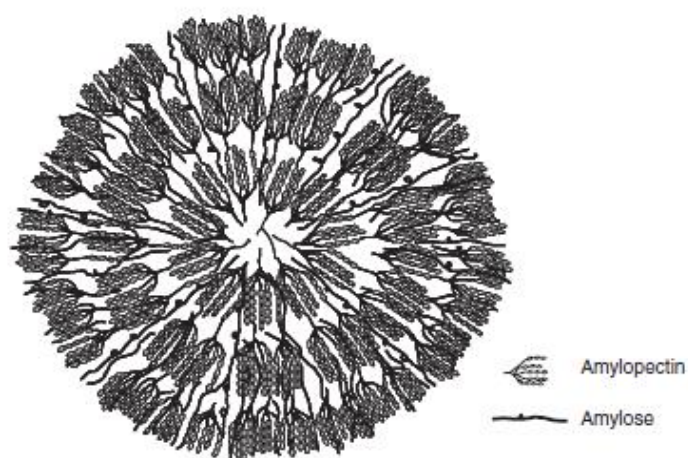


Figura 3. Organización de amilosa y amilopectina en el grano de almidón

Fuente: (BeMiller y Whistler, 2009)

3.2.2. Propiedades tecnofuncionales y fisicoquímicas.

3.2.2.1. Temperatura de gelatinización.

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría ya que las moléculas están organizadas y estables, pero en el momento que hay calentamiento empieza la absorción de agua. Cuando llega a su punto máximo de hinchamiento los gránulos comienzan su rompimiento, la amilosa y

amilopectina se empiezan a dispersar, lo que genera un aumento en la viscosidad. Esto ocurre aproximadamente a los 65°C. La cantidad de amilopectina en cierta forma determina la temperatura de gelatinización, entre mayor sea esta, mayor es la cantidad de energía requerida para el proceso de gelatinización (Badui, 2006).

3.2.2.2.Poder de hinchamiento e índice de absorción de agua.

El poder de hinchamiento mide la capacidad de absorción de agua del granulo de almidón cuando se encuentra suspendido en agua y es calentada dicha suspensión (Aristizábal y Sánchez, 2007). Parece ser que el hinchamiento suele ser una propiedad atribuida a las moléculas de amilopectina preservadas, estudios realizados sobre almidones demuestran que al disminuir el contenido amilosa el volumen de expansión del granulo aumenta (BeMiller y Whistler, 2009).

3.2.2.3.Solubilidad.

Granados, Guzmán, Acevedo, Díaz y Herrera (2014) describen el índice de solubilidad del almidón como la capacidad de reaccionar con el agua y disolverse en ella. Los gránulos de almidón en agua fría no son solubles debido a que la estructura molecular que presentan es semicristalina. Cuando la suspensión de agua y almidón es calentada dicha estructura molecular pierde su orden y se inicia la solubilización inicialmente de la amilosa (Espinosa, 2008).

3.2.2.4.Estabilidad al congelamiento-descongelamiento.

El análisis busca encontrar la cantidad de agua separada después de exponer una pasta de almidón a tratamientos de congelamiento y descongelamiento (Sánchez, Solorza, Méndez, Paredes y Bello, 2002).

3.2.2.5.Viscosidad.

La viscosidad se define como la resistencia de una solución al fluir bajo una fuerza aplicada.

En la Guía Técnica Para la Producción y Análisis del Almidón de Yuca de la FAO (Aristizábal y Sánchez, 2007) se define la viscosidad de un gel de almidón calentado como la medida de la fuerza de torsión de una aguja rotante bajo condiciones de temperatura y velocidad constante.

Cuando una suspensión de almidón en agua es calentada a medida que aumenta la temperatura la amilosa se solubiliza y es lixiviada de las redes que se forman, dicha amilosa es un requisito indispensable para la formación del gel. La viscosidad máxima es un indicador del poder espesante del almidón (BeMiller y Whistler, 2009).

3.2.2.6. Retrogradación.

Badui (2006) define la retrogradación como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa. Si una solución concentrada de amilosa se calienta y se enfría rápidamente hasta alcanzar la temperatura ambiente, se forma un gel rígido y reversible, pero, si las soluciones son diluidas, se vuelven opacas y precipitan cuando se dejan reposar y enfriar lentamente.

Fadda, Sanguinetti, Caro, Collar y Piga (2014) afirman que el envejecimiento del pan es causado principalmente por la retrogradación del almidón; dicha retrogradación se caracteriza por un reordenamiento (recristalización) de las moléculas del almidón. La retrogradación ocurre en dos etapas siendo la primera de estas una gelación de la amilosa en donde se forman segmentos de doble hélice y posterior unión hélice-hélice; la segunda etapa es más lenta y tiene lugar con la amilopectina que se recristaliza, estos cambios conllevan a una pérdida de agua y secamiento de la miga (Luna y Bárcenas, 2011).

3.2.3. Usos del almidón en la industria.

Los almidones son ampliamente usados en la industria de alimentos para varios propósitos

como producto de adherencia, estabilizante de emulsiones, estabilizador de espumas, retenedor de humedad, espesantes, gelificantes, entre otros (Eliasson, 2004).

BeMiller y Whistler (2009), afirman que en los primeros procesos en los que se implementó el almidón fueron en la industria del vino en Alemania. Por medio de una hidrólisis ácida del almidón de papas se obtenía el edulcorante. De la misma forma el almidón ha sido fuertemente utilizado en la industria de la confección además en la fabricación de dextrinas.

3.2.4. Características tecnofuncionales de otros almidones empleados en la industria de alimentos.

3.2.4.1. Almidón de maíz.

La alta calidad del almidón obtenido del maíz lo hace ampliamente utilizado en la industria de jarabes de glucosa, dextrinas; en la industria de alimentos como espesante, gelificante; en la industria papelera, en la industria de panificación, industria cosmética, entre muchos otros usos (BeMiller y Whistler, 2009).

3.2.4.2. Almidón de arroz.

Debido al tamaño pequeño del granulo del almidón de arroz el gel que forma es suave, lo que lo hace deseable en bebidas lácteas, helados de crema, yogures, en cremas de pastelería, industria cosmética, entre otros. De la misma forma es ampliamente utilizado en la producción de malto dextrinas (Eliasson, 2004).

3.2.4.3. Almidón de yuca.

El almidón de yuca es un producto ampliamente utilizado en Colombia y Brasil. En su forma fermentada se emplea en productos de panificación como pandebono, pandeyuca, rosquillas. El almidón nativo de este tubérculo se utiliza en bebidas como la avena cubana (Aristizábal y Sánchez, 2007).

En la tabla 3 se encuentran descritas las principales características fisicoquímicas y tecnofuncionales de los almidones de maíz, arroz y yuca.

Tabla 3:

Características fisicoquímicas y tecnofuncionales de algunos almidones

Parámetro	Almidón de arroz	Almidón de maíz	Almidón de yuca
Cantidad en el cereal (%)	73 – 85 ^a	88 ^b	
Amilosa (%)	7,8 – 18,9 ^a	28 ^b	17 - 24 ^d
Amilopectina (%)	80 ^b	72 ^b	
Humedad (%)	8,34-8,65 ^f	8,52 ^c	10 - 13 ^d
Temperatura de gelatinización (°C)	62 – 72 ^a	62 - 72 ^b	57,5 - 70 ^d
Poder de hinchamiento	8,67-9,23 ^e	8,33 – 8,5 ^e	0,79 – 15,45 ^d
Índice solubilidad en agua	4,0 – 2,0 ^e	6,0 – 8,0 ^e	0,27 – 12,32 ^d
Índice absorción de agua	1,07 – 1,15 ^e	1,10 – 1,01 ^e	0,82 – 15,52 ^d
Estabilidad al congelamiento y descongelamiento (%)	0,2 – 11,75 ^e	1,65 – 17,72 ^e	0 – 3,2 ^g
Sinéresis)			
Viscosidad (cP)	998 – 4026* ^e	3931 – 3950 ^c	840 – 1500 ^d

Nota: * viscosidad final

Fuentes: ^a (Eliasson, 2004); ^b (BeMiller, y Whistler, 2009); ^c (Jan et al., 2017); ^d (Aristizábal, y Sánchez, 2007); ^e (Ali, Wani, Wani, y Masoodi, 2016); ^f (Martínez, Hernández, y Arias, 2017); ^g (Hernández, Torruco, Chel y Betancur, 2008)

3.3. Antecedentes sobre caracterización almidones de quinua

El almidón de quinua es objeto de interés por parte de la academia. De hecho, se encuentran en la literatura diversas investigaciones encaminadas a caracterizarlo y potenciar su aplicación a nivel industrial.

Algunos estudios académicos han arrojado porcentajes de almidón de quinua entre 58 – 68 %, tal es el caso de Bojanic (2011). De acuerdo a Abugoch (2009), el porcentaje de amilosa y amilopectina se encuentran entre 3,5 - 22,5 % y 77,5 % respectivamente. Este mismo autor describe el almidón en este pseudocereal como una estructura altamente ramificada con longitudes de cadena entre 500 y 6000 unidades de glucosa, con número promedio de cadenas de

amilosa por molécula entre 11,6. En cuanto al tamaño de grano este es relativamente pequeño, alrededor de las 1,5 μ m (Bernal, Leal y Garzón, 2009).

Lindeboom, Chang, Falk, y Tyler (2005), realizan la caracterización de ocho variedades que quinua provenientes del Centro de Agricultura de Canadá: Ames 22155 (Chile), Ames 13745 (USA), Ames 21926 (Bolivia), AAFC-1 y AAFC-2, estas dos últimas desarrolladas en el laboratorio de agricultura de Canadá; y las tres restantes provenientes de la empresa Northern Quinoa Corporation NQC, WMF y QC. Los autores efectúan un aislamiento del almidón por medio de un remojo (16 horas), licuado, centrifugado (4300RPM x 20 min.), lavado (etanol 95%) y secado (temperatura ambiente). Los resultados logrados indican porcentajes de amilosa entre 3,5 – 19,6 % (HPLC); proteína 0,14 – 1,23%; retrogradación 19,6 – 40,8%; del 0,27%; temperatura máxima de gelatinización 50,5 – 61,7°C; viscosidad 4,2 – 24,2 RUV; poder de hinchamiento (65°C) 10,3 – 18 g/g; solubilidad (65°C) 1,4 – 3,2 g/g; agua separada (1 ciclo) 0 – 37 %. Los autores concluyen que los almidones de quinua presentan una extensa variación en las propiedades fisicoquímicas, especialmente en las propiedades de la pasta y poder de hinchamiento, relacionan estas propiedades directamente con el contenido de amilosa.

Jan, Panesar, Rana y Singh (2017), por su parte estudian las características estructurales, térmicas y reológicas de almidones aislados de variedades indias de quinua. El germoplasma de las muestras de la investigación (IC-411824 (V1) y EC-507739 (V2)) lo obtienen del National Bureau of Plant Genetic Resources localizado en Shimla. Dicho germoplasma se cultiva y cosecha en un lapso de cuatro meses. Las semillas son secadas a temperatura ambiente. El almidón se aísla por medio del remojo alcalino de la harina (solución NaOH 0,25%; proporción 1:6; 24 horas), el compuesto obtenido se centrifuga (5500RPM; 15 minutos), se filtra; se centrifuga por segunda vez (6500RPM; 15 minutos) y se seca (40°C; 12 horas). Los análisis

obtenidos reportan valores de: rendimiento (V1 48,52 % \pm 0,48; V2 41,28 % \pm 0,31); pureza (V1 98,30 % \pm 0,1; V2 98,5 % \pm 0,11); humedad (V1 8,49 % \pm 0,29; V2 9,20 % \pm 0,30); grasa (V1 0,40 % \pm 0,11; V2 0,32 % \pm 0,12); cenizas (V1 0,22 % \pm 0,02; V2 0,18 % \pm 0,03); proteína (V1 0,95 % \pm 0,09; V2 0,89 % \pm 0,09); amilosa (V1 12,10 % \pm 0,13; V2 9,46 % \pm 0,02); capacidad retención agua (V1 92,15 \pm 0,65; V2 88,27 \pm 0,94); temperatura de gelificación (69,45°C \pm 1,83; V2 72,85°C \pm 1,11); viscosidad final (V1 97,91 RVU \pm 33,59; V2 74,5 RVU \pm 21,47). Los investigadores concluyen que existe variación en las dos muestras de almidón de quinua ya que la muestra V1 presenta mayor rendimiento y contenido de amilosa; en cuanto al análisis proximal no presenta diferencias significativas a excepción de la grasa. Los dos tipos de almidón presentan baja viscosidad lo que significa su estabilidad a las temperaturas altas y la resistencia a las tensiones de corte. Finalmente concluyen que ambas variedades son adecuadas para ser explotadas en la producción comercial de almidón y usada en alimentos como espesante, estabilizante; y no alimentos.

Por su parte, Quinto, Córdor, Solano y Silva (2015), aíslan y caracterizan el almidón a tres variedades de quinua (Negra Collana (VC), Pasankalla Roja (VP) y Blanca Junín (VB)). El almidón es extraído remojando las semillas de quinua en agua (1:3; 6 horas; refrigeración), a dicha mezcla se adiciona bisulfito de sodio. Posteriormente se realiza licuado (4 minutos), centrifugado (2000RPM; 15 minutos) y secado (30°C; 5 horas). Los resultados finales muestran rendimiento (VC 18,95 % \pm 0,05; VP 26,71 % \pm 0,15; VB 30,62 % \pm 0,03); humedad (VC 11,50 % \pm 0,45; VP 11,66 % \pm 0,04; VB 11,34 % \pm 0,01); proteína (VC 11,19 %; VP 12,68 %; VB 13,64 %); grasa (VC 5,31 %; VP 5,89 %; VB 7,10 %); fibra (VC 3,6 %; VP 3,96 %; VB 4,84 %); cenizas (VC 2,94 %; VP 3,5 %; VB 4,40 %); carbohidratos (VC 80,56 %; VP 77,92 %; VB 74,85 %); índice de finura (VC 1,35 % \pm 0,05; VP 1,25 % \pm 0,02; VB 1,11 % \pm 0,11);

colorimetría (VC 42,29 L* \pm 2,72; VP 66,11 L* \pm 4,21; VB 80,89L* \pm 1,30); viscosidad (VC 2006,50 cP \pm 2,12; VP 1009,00cP \pm 1,41; VB 1521,50cP \pm 9,19); temperatura gelatinización (VC 65,50°C \pm 0,71; VP 68°C \pm 1,41; VB 68,5°C \pm 0,71); solubilidad (VC 5,03 % \pm 0,01; VP 4,94 % \pm 0,12; VB 4,97 % \pm 0,08); absorción de agua (VC 4,66 % \pm 0,0; VP 4,82 % \pm 0,13; VB 4,33 % \pm 0,10); poder de hinchamiento (VC 0,70 % \pm 0,0; VP 0,74 % \pm 0,04; VB 0,66 % \pm 0,03); retrogradación (VC 41,36 % \pm 0,19; VP 70,71 % \pm 0,21; VB 72,34 % \pm 0,46); estabilidad al descongelamiento (VC 4,10 % \pm 1,18; VP 1,32 % \pm 0,32; VB 1,29 % \pm 0,71). Los autores concluyen que: hay diferencias significativas en el rendimiento entre las variedades de quinua; la variedad Blanca presenta mayor rendimiento; en cuanto a la viscosidad la variedad Negra Collana genera una pasta más viscosa; el índice de solubilidad no presenta diferencias; el índice de absorción de agua presenta valores pequeños esto es debido al reducido tamaño de las partículas del almidón de quinua; y con respecto a la estabilidad al proceso de descongelamiento, la variedad Collana es la menos estable.

3.4. Extracción y rendimiento del almidón de quinua

Diversas técnicas de extracción de almidón de quinua han sido empleadas a partir del grano o partiendo desde la harina. La molienda húmeda ha sido uno de los métodos más usados. Bergesse et al.(2015) emplea un método iniciando con la molienda húmeda del grano por medio de molino de rodillos con un lavado previo para eliminar gran parte de las saponinas, un posterior remojo permite la separación del almidón el cual es secado por medio de spray. El rendimiento obtenido es del 70%.

Quinto et al. (2015) obtienen un rendimiento en tres variedades diferentes de quinua entre el 18,95% y 30,62% empleando el método de remojo del grano de quinua en agua con bisulfito de

sodio durante 16 horas a temperatura de refrigeración, con un posterior licuado, tamizado y centrifugado por 15 minutos a 2000 RPM y terminando con un secado a 30°C durante 5 horas.

Por otra parte Jan et al. (2017) al emplear el método de remojo alcalino (con una concentración máxima de NaOH del 0,25%) durante 24 horas, posterior un licuado, centrifugado por 15 minutos a 5500RPM obtiene un rendimiento del 48,52%.

4. Materiales y metodología

El presente trabajo se lleva a cabo en las instalaciones del laboratorio fisicoquímico de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

4.1. Materia Prima

Se trabajan dos variedades de harina de quinua, Aurora (VA) y Blanca Dulce de Jericó (VB), provenientes de la finca Chamomillé ubicada en el municipio de Subachoque.

4.2. Extracción de almidón

El método que se emplea en la extracción del almidón de quinua es el referenciado por Jan et al. (2017) llamado “Water steeping” con modificaciones en la velocidad de centrifugado, hechas para adaptar la extracción a los equipos y herramientas con las que se cuenta en el laboratorio. Dicho proceso se describe en la figura 4.

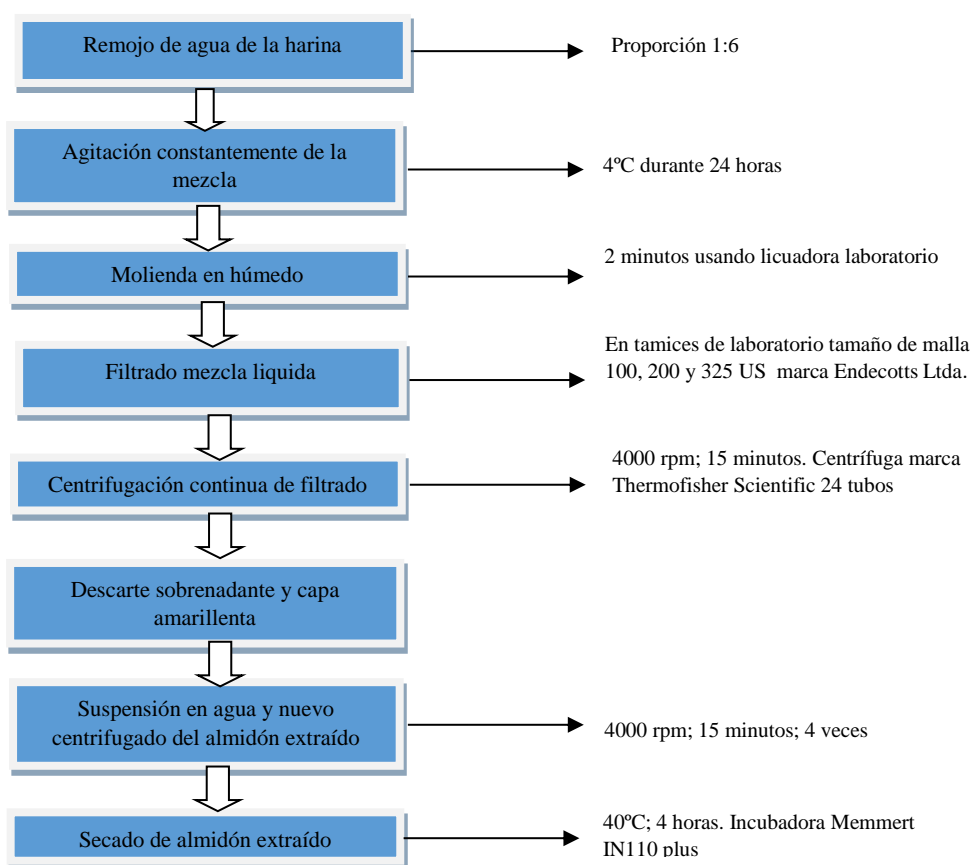


Figura 4. Diagrama de extracción de almidón de quinua

Fuente: (Jan et al., 2017)

Se evalúa el porcentaje de rendimiento de almidón mediante la fórmula 1.

$$\%rendimiento = \frac{\text{peso almidón}(g)}{\text{peso harina}(g)} \times 100 \quad (1)$$

4.3. Propiedades tecnofuncionales de los almidones

4.3.1. Determinación de la humedad.

El método que se utiliza es el descrito en la Norma Técnica Colombiana 529 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2009) Se pesa 5g de muestra en un crisol con tapa, posteriormente se lleva la muestra pesada ha secado en un horno de convección marca Termo Scientific (120 minutos; 130°C ± 3°C). Después de seca la muestra se tapa y se lleva a un

deseCADador hasta que alcance temperatura ambiente.

El cÁculo de porcentaje de humedad se determina mediante la fÓrmula 2.

$$W = \left(1 - \frac{m_1}{m_2}\right) \times 100 \quad (2)$$

m_1 = masa muestra seca

m_2 = masa de la muestra

4.3.2. Determinaci3n de la Temperatura de Gelatinizaci3n.

El m3todo es el citado por AristizÁbal y SÁnchez, (2007). Se pesan 10 g de almid3n, se disuelven en agua, se completa el volumen a 100ml y en un vaso de 100 ml se toma una alÍcuota de 50ml de muestra. Se lleva el baÑo de marÍa a 85°C y se introduce el vaso de precipitados con la muestra en el agua. Se agita con un term3metro constantemente la suspensi3n de almid3n hasta que forme una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos. Se lee la temperatura de gelatinizaci3n directamente.

4.3.3. Determinaci3n del Poder de hinchamiento, Índice de solubilidad e Índice de absorci3n de agua.

Los anÁlisis se realizan por medio del m3todo citado por AristizÁbal y SÁnchez, (2007). Se pesa un tubo de centrÍfuga seco, se pesa en el tubo 1,25g de almid3n, se agrega exactamente 30 ml de agua destilada precalentada a 60°C y se agita el tubo sin exceso. Se coloca el tubo en baÑo de marÍa a 60°C durante 30 minutos, la suspensi3n se agita a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento. Se centrifuga a temperatura ambiente la muestra en una centrÍfuga marca Thermofisher Scientific (4900 RPM; 30 minutos). Posteriormente se decanta el sobrenadante inmediatamente despu3s de centrifugar y se mide el volumen. Subsiguientemente son tomados

10ml del sobrenadante y se colocan en un vaso de precipitados de 50ml previamente pesado y se lleva a secado a 70°C durante toda la noche, en un horno de convección marca Termo Scientific. El tubo con el gel se pesa y de la misma forma el vaso con los solubles secos.

Los cálculos empleados son:

$$\text{Poder de hinchamiento (PH)} = \frac{\text{peso del gel (g)}}{\text{peso muestra (g)}_{bs} - \text{peso solubles (g)}} \quad (3)$$

$$\text{Indice de absorción de agua (IAA)} = \frac{\text{peso del gel (g)}}{\text{peso muestra (g)}_{bs}} \quad (4)$$

$$\text{Indice de solubilidad en agua (ISA)} = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times V \times 10}{\text{peso muestra (g)}_{bs}} \quad (5)$$

bs = base seca

peso solubles = peso sobrenadante después de ser expuesto a secado a 70°C durante una noche

peso gel = Almidón gelificado en el tubo después de somerter la pasta a centrifugado y decantado

4.3.4. Determinación de la Estabilidad al congelamiento-descongelamiento.

El método empleado es el citado por Bello, Contreras, Romero, Solorza y Jiménez (2002). Se gelifica una suspensión de almidón en agua al 5% y se introduce en un ultracongelador marca Javar por 18 horas a -20°C. Se saca la muestra del congelador y se descongela a temperatura ambiente durante 6 horas. Posteriormente se centrifuga a 3000 RPM durante 10 minutos en la centrífuga Thermofisher Scientific. Seguido se mide la cantidad de agua separada.

Los cálculos realizados para determinar el % de sinéresis o % de agua separada son:

$$\% \text{ sineresis} = \frac{\text{peso de agua}}{\text{peso de gel}} \times 100 \quad (6)$$

4.3.5. Determinación de la viscosidad aparente.

En el análisis se pretende evaluar la viscosidad en centipoises (cP). El método que se emplea es el descrito por Bello et al. (2002) con modificaciones en el procedimiento. Se prepara una pasta con el almidón al 5% (p/v) y se coloca en un baño con agua hirviendo durante 15 minutos.

Posteriormente se enfría a temperatura ambiente y seguido se mide la viscosidad aparente utilizando un viscosímetro Brookfield modelo S/E4360 a las velocidades de deformación de 10 RPM y 20 RPM con aguja N°1.

La viscosidad aparente se reporta en centipoises (cP). Informando la concentración de la suspensión de almidón, temperatura, velocidad y número de aguja.

4.4. Metodología estadística

Los resultados de las propiedades tecnofuncionales de humedad, temperatura de gelificación, poder de hinchamiento y estabilidad al congelamiento-descongelamiento de las dos muestras de almidón fueron analizados estadísticamente por medio de un ANOVA de componentes principales. En cuanto a la viscosidad aparente esta se determinó por medio de un análisis de ANOVA y de diferencias mínimas significativas (LSD). El software empleado es el Statgraphics Centurion XVII.

5. Resultados y Discusión

5.1. Porcentaje de rendimiento de los almidones

En la tabla 4 se encuentran los datos correspondientes al porcentaje de almidón, obtenido de las variedades Aurora y Blanca Dulce de Jericó.

Tabla 4:

Porcentaje de rendimiento almidones

Variedad	Rendimiento (%)
Aurora	21
Blanca Dulce de Jericó	24

Los porcentajes obtenidos de las dos variedades son similares y cercanos a los reportados por Quinto et al. (2015) para las variedades Collana Negra (18.95%) y variedad Pasankalla roja (26.71%); sin embargo, son más bajos si se comparan con la variedad Blanca Dulce Junín (30.62%). Debe tenerse en cuenta que Quinto et al. (2015) utiliza bisulfito de sodio en la extracción. La adición de bisulfito de sodio ha demostrado mejorar el proceso de extracción de almidón mejorando las propiedades reológicas y posiblemente su rendimiento ya que permite obtener un almidón con mayor pureza (Palacio y Peñaata, 2012).

Por otra parte, métodos empleados en otros estudios demuestran un rendimiento mayor. Este es el caso de Jan et al. (2017) el cual por medio de un método de remojo alcalino (con una concentración de NaOH del 0,25%) obtiene un rendimiento del 48,52%.

5.2. Propiedades tecnofuncionales de los almidones

En la tabla 5 se describen los resultados obtenidos después de realizar los análisis a los almidones extraídos. Se evidencia que el porcentaje de humedad de las dos variedades de almidón de quinua no presenta diferencias significativas (VA 12,45 % \pm 0,07; VB 13,11% \pm 0,75) encontrándose cercanos a los reportados por Bernal, Ramírez, Duarte, Guzmán y Acero

(2015) en algunas variedades de quinua nativas de Colombia (12%). Por otra parte, al comparar la humedad del almidón de quinua con el de otros tipos, esta se encuentra dentro del rango reportado para almidón de yuca (10-13%) (Aristizábal y Sánchez, 2007); y cercano al máximo reportado para almidón de maíz de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 926 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2004) (10 – 13%); sin embargo es más alto por los reportados por Ali et al. (2016) al realizar estudios en el almidón de dos especies de arroz (10,62 % - 8,77 %).

Tabla 5:

Resultados análisis propiedades tecno funcionales almidones

Análisis	Variedad Aurora	Variedad Blanca Dulce de Jericó
Humedad (%)	12,45 ± 0,07 **	13,11 ± 0,75 **
Temperatura gelatinización (°C)	73,33 ± 1,15 **	73,33 ± 1,15 **
Poder de hinchamiento (g/g)	3,51 ± 0,12 *	4,08 ± 0,03 *
Índice solubilidad en agua	1,09 ± 0,15 *	0,64 ± 0,06 *
Índice absorción de agua	3,50 ± 0,12 *	4,07 ± 0,02 *
Estabilidad al congelamiento-descongelamiento (% sinéresis)	38,54 ± 0,16 *	47,79 ± 0,32 *

Nota. * Se evidencia diferencia significativa con $p < 0,05$; ** No se evidencia diferencia significativa con $p > 0,05$. Análisis de ANOVA simple con Statgraphics centurión XV.II.

Respecto a la temperatura de gelatinización, no se evidencia diferencia significativa entre las dos variedades de almidón ($73,33\text{ °C} \pm 1,15$). Dichos resultados son mas altos comparados con los reportados por Storani y Martini (2010) (citados por Bergesse et al., 2015)) ($50\text{-}70\text{ °C}$); y por Quinto et al. (2015) en tres variedades de quinua del Perú ($65,5\text{ °C} - 68,5\text{ °C}$). Pero, cercanos a los reportados para almidón de maíz y de arroz ($62 - 72\text{ °C}$) y para almidón nativo de banano ($72,1 - 75\text{ °C}$) (Martínez, Lapo, Pérez, Zambrano, y Maza, 2015). Algunos estudios relacionan altas temperaturas de gelatinización con almidones con bajo contenido de amilosa (Landires, Marquez y Cornejo, 2013); sin embargo, hay otros estudios que demuestran otros factores como la relación entre la temperatura de gelatinización y la longitud de las cadenas de amilopectina (Lindeboom et al., 2005).

En cuanto al poder de hinchamiento en las dos variedades de quinua, se evidencia diferencia significativa; la Blanca Dulce de Jericó presenta un mayor poder ($4,08 \text{ g/g} \pm 0,03$). Sin embargo, estos resultados son bajos si se comparan con las investigaciones reportadas por Jan et al. (2017) para algunas variedades de quinua ($12,5 - 13,89 \text{ g/g}$); y para otros tipos de almidones como de arroz ($8,67 \text{ g/g} - 9,23 \text{ g/g}$) (Ali et al., 2016) y maíz ($18,27 \text{ g/g}$) (Jan et al., 2017). Pero, se encuentran dentro del rango reportado por Aristizábal y Sánchez, (2007) para almidón de yuca ($0,79 - 15,45 \text{ g/g}$). Alcázar y Meireles (2015) destacan la capacidad de las moléculas de amilosa para formar complejos lipídicos que restringen el hinchamiento. Contrario, la amilopectina es la principal responsable que ocurra el hinchamiento en los gránulos de almidón debido a la formación de puentes de hidrógeno con el agua (Espinosa, 2008).

Referente al índice de solubilidad en agua la variedad Aurora presenta un valor mayor ($1,09 \pm 0,15$) existiendo diferencia significativa con relación a la variedad Blanca Dulce de Jericó ($0,64 \pm 0,06$). Dichos valores son cercanos a los reportados por Jan et al. (2017) a temperatura de 65°C ($1,47 - 2,8$) para almidón de algunas variedades de quinua. Al comparar dichos resultados con otros tipos de almidones estos son menores a los encontrados por Ali et al. (2016) para almidón de arroz de dos variedades de la India ($2,0 - 4,0$) y para almidón nativo de papa de Perú ($4,8 - 7,5$) (Betalleluz, Ibarz, Martínez, Malaga y Velezmoro, 2015); pero dentro del rango para almidón de yuca ($0,27 - 12,32$) (Aristizábal y Sánchez, 2007). De acuerdo con Hernández et al. (2008), durante el proceso de gelatinización algunas moléculas, especialmente amilosa, se solubilizan difundiendo en el agua aumentando el índice de solubilidad. Dicha afirmación concuerda con lo establecido por Aristizábal y Sánchez (2007) quienes afirman que “Durante esta etapa de cocción, la amilosa se solubiliza y el almidón sufre una dispersión coloidal constituida por una fase continua o disolvente que se enriquece en amilosa y una fase dispersa de gránulos de

almidón hinchados enriquecidos en amilopectina”(p.52).

Desde el punto de vista del índice de absorción entre las dos variedades estudiadas, hay una diferencia significativa siendo la variedad Blanca Dulce de Jericó la que presenta un valor mayor ($4,07 \pm 0,02$) acercándose a los resultados reportados por Quinto et al. (2015) en tres variedades de quinua (4,33 - 4,82). Con relación a otros tipos de almidones, el índice es mayor al reportado por Ali et al.(2016) que encuentran un índice entre (1,07 – 1,15) para almidón de arroz y de (1,10 – 1,01) para almidón de maíz. Con relación al almidón de yuca reportado por Aristizábal y Sánchez (2007) (0,82 – 15,52) este se encuentra del rango. Alcázar y Meireles (2015) argumentan que la capacidad de absorción de agua del almidón depende de la asociación de amilosa- amilopectina. Al ser calentado el almidón en un exceso de agua ocurre una separación de fragmentos de amilosa que se encuentran en el espacio inter granular, dichos fragmentos son solubilizados y las moléculas de agua se asocian mediante enlaces de hidrógeno con los grupos hidroxilos expuestos de la amilopectina.

Con respecto a la estabilidad al congelamiento y descongelamiento las variedades Aurora y Blanca Dulce de Jericó presentan diferencias significativas (VA 38,54 % \pm 0,16; VB 47,79 % \pm 0,32). Dichos resultados se encuentran por encima dentro de los parámetros encontrados por Lindeboom et al.(2005) para diferentes clases de quinua (0 – 37%; un ciclo). Con relación a otros tipos de almidones los valores se encuentran por encima de los reportados para almidón de arroz (0,2 % – 11,75 %), maíz (1,65 % – 17,72 %) (Ali et al., 2016) y yuca (0 – 3,2 %) (Aristizábal y Sánchez, 2007). De acuerdo con Saartrat y col. (2005) (citado por Zamudio et al., 2015), cuando un gel es sometido a ciclos de congelamiento y descongelamiento ocurre un incremento en la asociación entre las moléculas de las cadenas de almidón, específicamente la retrogradación de la amilosa en principio generando una expulsión de agua de la estructura de gel. Sin embargo,

Lindeboom et al. (2005) no encontraron en algunas de las ocho variedades de quinua estudiadas relación entre contenido de amilosa y estabilidad al congelamiento-descongelamiento.

En cuanto a la viscosidad aparente, la Tabla 6 describe los resultados hallados en las pastas de almidón. El análisis de varianza multifactorial evidencia que tanto la variedad como la velocidad de deformación influyen directamente en la viscosidad de las pastas siendo la variedad Aurora la que presenta un mayor valor (VA 321 cP \pm 0,58; VB 239 cP \pm 0,67). Velásquez y Velezmoro (2018) afirman que pastas que presentan mayor contenido de amilosa pueden presentar mayor esfuerzo de corte y mayor viscosidad; dicha afirmación concuerda con lo planteado por Landires et al. (2013) quienes dicen que la configuración lineal de la amilosa permite la unión estrecha entre sus moléculas, expulsión de agua y formación de geles más consistentes pero propensos a la retrogradación. Dicha retrogradación posiblemente puede ser la responsable de la corteza reseca y disminución de tamaño que se puede observar en la figura 5 cuando se somete el gel de almidón de quinua de la variedad Aurora a temperatura ambiente por un lapso de 5 días. Al comparar la viscosidad con otros almidones, esta es menor con la reportada para almidón de arroz (998 cP – 4026 cP) (Ali et al., 2016), maíz (3931cP – 3950cP) (Jan et al., 2017) y para almidón de yuca (840 – 1500 cP) (Aristizábal y Sánchez, 2007).

Tabla 6:

Resultados viscosidad aparente almidones

Variedad	Viscosidad (cP.)	
	10 RPM*	20 RPM*
Aurora *	321 \pm 0,58	215 \pm 0,75
Blanca Dulce de Jericó*	239 \pm 0,67	159 \pm 0,75

Nota. Pastas al 5%; evaluadas a 25°C; aguja N°. 1. Valores reportados en centipoises (cP).

RPM: revoluciones por minuto.

* Se evidencia efecto estadísticamente significativo con $p < 0,05$. Análisis de ANOVA multivariado y LSD de Fisher con Statgraphics centurión XV.II

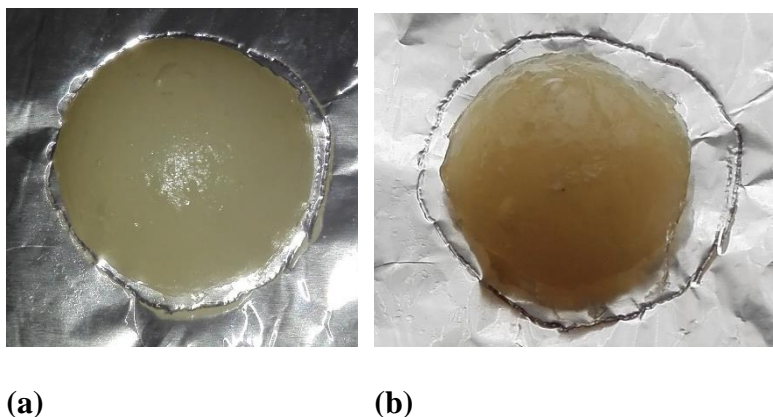


Figura 5. Apariencia de gel al 10% de almidón de quinua variedad Aurora
(a) Primer día (b) quinto día

La figura 6 muestra la interacción que existen entre el factor velocidad de deformación y la viscosidad; en la medida que aumenta la velocidad de corte, la viscosidad disminuye (VA $321 \text{ cP} \pm 0,58$ 10 RPM; $215 \text{ cP} \pm 0,75$ 20 RPM; VB $239 \text{ cP} \pm 0,67$ 10 RPM; $159 \text{ cP} \pm 0,75$ 20 RPM). Esto demuestra un comportamiento pseudoplástico en ambas pastas (Espitia, Salcedo y García, 2016). Por su parte, Velásquez y Velezmoro (2018) afirman que está pérdida de viscosidad es debida al rompimiento de la red formada por amilosa, amilopectina y agua.

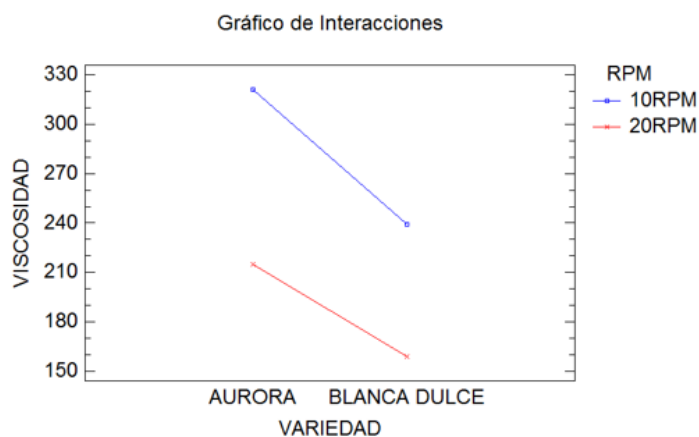


Figura 6. Gráfico de interacción variedad – viscosidad – velocidad deformación
Grafica obtenida en Statgraphics Centurión XV.II

6. Conclusiones

- El método “water steeping” permite la obtención de almidón de las dos variedades de quinua con un rendimiento para la variedad Aurora del 21% y la Blanca Dulce de Jericó del 24%. El “water steeping” demuestra ser un método favorable si se pretende obtener almidón para ser utilizado en procesos industriales de alimentos ya que no representa riesgo químico; sin embargo es necesario tener en cuenta que este tipo de extracción requiere un gasto de agua considerable siendo esta situación un aspecto desfavorable y de impacto medio ambiental negativo.
- Los parámetros poder de hinchamiento, índice de absorción de agua y estabilidad al congelamiento-descongelamiento son altos en la variedad Blanca Dulce de Jericó (PH $4,08 \text{ g/g} \pm 0,03$; IAA $4,07 \pm 0,02$; ECD $47,79 \% \pm 0,32$) en cuanto a la solubilidad en agua el mayor valor lo presentó la variedad Aurora ($1,09 \pm 0,15$). El mayor poder de hinchamiento y absorción de agua de la variedad Blanca Dulce están relacionados con un mayor potencial del almidón a retener agua e hincharse dicha propiedad concuerda con la baja solubilidad que presenta este almidón ($0,64 \pm 0,06$).
- La temperatura de gelatinización reportada para ambas variedades de almidón de quinua ($73,33 \pm 1,15$), permite concluir que pueden ser utilizados en procesos industriales de cocción en donde se empleen temperaturas relativamente altas.
- De acuerdo con la estabilidad al congelamiento y descongelamiento el % de sinéresis es relativamente alto (VA $38,54 \% \pm 0,16$; VB $47,79 \% \pm 0,32$). Lo que permite concluir que no es conveniente el empleo de estos almidones en productos gelificados que necesiten ser conservados en congelación.
- Tanto la variedad Aurora como la Blanca Dulce de Jericó presentan viscosidades

relativamente bajas (VA 321 cP \pm 0,58; 239 cP \pm 0,67). La consistencia suave de estas pastas permite su uso en la producción de helados, cremas pasteleras, bebidas lácteas, entre otros.

- Las propiedades tecnofuncionales, específicamente de la variedad Blanca Dulce de Jericó demuestran que puede ser factible su utilización en procesos alimenticios como espesante de bebidas.

7. Recomendaciones

- Se recomienda al proyecto macro PIE_G_04_18_ECBTI realizar posteriores estudios de extracción de almidón mediante mecanismos alternos, como por ejemplo empleando Hidróxido de sodio o metabisulfito de sodio para establecer si existe mejora en el % de rendimiento como lo sugieren algunas investigaciones.

- Es recomendable que el proyecto macro PIE_G_04_18_ECBTI realice la aplicación tecnológica de los almidones de las variedades Blanca Dulce de Jericó y Aurora. De manera se pueda evaluar las características funcionales y organolépticas de productos alimenticios finales.

- Se recomienda al proyecto macro PIE_G_04_18_ECBTI realizar en posteriores investigaciones el estudio de amilosa-amilopectina para corroborar la relación de estas con las propiedades funcionales de los almidones.

- Se invita al grupo de investigación del proyecto macro PIE_G_04_18_ECBTI realizar posteriores análisis reológicos al almidón de las variedades de quinua con el objetivo de determinar el comportamiento, la estabilidad y consistencia de las pastas. De la misma forma un estudio de calorimetría con el fin de terminar el proceso de gelatinización exacto de dichos almidones.

- Se recomienda al proyecto macro PIE_G_04_18_ECBTI realizar análisis cristalinidad a los almidones de quinua con el objetivo de determinar la configuración de sus zonas amorfas-

cristalinas. De la misma forma de tamaño de partícula.

- Se recomienda al proyecto macro PIE_G_04_18_ECBTI realizar posteriores estudios de estabilidad al congelamiento-descongelamiento y viscosidad empleando diferentes variables y parámetros para así determinar el comportamiento ideal de los almidones para ser empleados en mayor número de procesos industriales.

Referencias bibliográficas

- Abugoch, L. (2009). Chapter 1 - Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. In *Advances in Food and Nutrition Research* (1st ed., Vol. 58, pp. 1–31). Santiago de Chile: Elsevier Inc.
[https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)58001-1](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1)
- Alcázar, S. y Meireles, A. (2015). Physicochemical properties , modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology*, 35(2), 215–236.
[https://doi.org/DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6749>](https://doi.org/DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6749)
- Ali, A., Wani, T. A., Wani, I. A. y Masoodi, F. A. (2016). Comparative study of the physico-chemical properties of rice and corn starches grown in Indian temperate climate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(1), 75–82.
<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.04.002>
- Arias, J. A. (2017). *Fomento a la producción de quinua y sus derivados para la diversificación de exportaciones no tradicionales en el período*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Aristizábal, J. y Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. *Fao* (Vol. 163). Roma: Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca.
<https://doi.org/9253056770-9789253056774>
- Badui, S. (2006). *Química de Alimentos*. (E. Quintanar & M. Gutiérrez, Eds.) (4a edición). México: Pearson.
- Bello, L., Contreras, S., Romero, R., Solorza, J. y Jiménez, A. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *musa paradisiaca* L. (Var. Macho).

Agrocencia, 36(2), 169–180.

BeMiller, J. y Whistler, R. (2009). *Starch Chemistry and Technology* (Third). USA: Food Science and Technology, International Series.

Bergesse, A., Boiocchi, P., Calandri, E., Cervilla, N., Gianna, V., Guzmán, C., ... Mufari, J. (2015). *Aprovechamiento Integral del Grano de Quinoa*. (F. Grasso, Ed.) (Vol. 0). Córdoba. Retrieved from [https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1846/Aprovechamiento integral del grano de quinoa.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1846/Aprovechamiento_integral_del_grano_de_quinoa.pdf?sequence=7&isAllowed=y)

Bernal, C., Leal, A., y Garzón, J. (2009). Obtención, a escala de laboratorio, de octenilsuccinato aluminico de almidón de quinua, con miras a su utilización en un producto cosmético. *Revista Virtual Pro*, 95, 15–34. Retrieved from <http://www.revistavirtualpro.com/revista/industria-cosmetica/15#2523>

Bernal, C., Ramirez, L., Duarte, D., Guzmán, A., y Acero, J. (2015). Quinoa, *Chenopodium quinoa* (Willd.) en Colombia. Caracterización de gránulos de almidón nativo de quinua por IR-ATR, MEB, DRX. *Revista de Investigación Fundación Universidad América*, 8(2), 122–131.

Bernal, C., Villegas, E., Sandoval, G., Lache, A. y Correa, C. (2015). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) en Colombia. Primera Entrega: Un nuevo enfoque de negocio. *Revista Virtual Pro*, (164), 1–31. Retrieved from <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/quinoa-en-colombia-primera-entrega-un-nuevo-enfoque-de-negocio>

Betalalleluz, I., Ibarz, A., Martínez, P., Malaga, A. y Velezmoro, C. (2015). Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas

- Functional characterization on native starch of Peruvian native potatoes. *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 291–301. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.06>
- Bojanic, A. (2011). *La quinua : Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. https://doi.org/http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/cultivo_quinua_es.pdf
- Cristo, G. (2014). Rescatemos la Suba o Quinoa. En G. Cristo, *Rescatemos la Suba o Quinoa* (pág. 51). Bogotá: Editorial Kimpress Ltda.
- Delgado, P. (18 de agosto de 2015). Importación de 1,1 millones de toneladas de maíz divide a sectores del agro. *La República*. Recuperado de <https://www.larepublica.co/economia/importacion-de-1-1-millones-de-toneladas-de-maiz-divide-a-sectores-del-agro-2290111>
- Eliasson, A. (2004). *Starch in Food*. (A.-C. Eliasson, Ed.), Woodhead Publishing Limited (First, Vol. 52). Cambridge. <https://doi.org/10.1533/9781855739093.2.258>
- Espinosa, V. (2008). *Estudios Estructurales de Almidón de Fuentes No Convencionales : Mango (Mangifera indica L .) Y Plátano (Musa paradisiaca L .)*. Instituto Politécnico Nacional.
- Espitia, J., Salcedo, J. y García, C. (2016). Funtional Properties of Starch Yam (Dioscorea bulbífera , Dioscorea trifida y Dioscorea esculenta). *Revista Tecnológica Universidad de Zulia*, 39(January), 30–36.
- Fadda, C., Sanguinetti, A. M., Caro, A. Del, Collar, C., y Piga, A. (2014). Bread Staling : Updating the View. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 473–492. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12064>

- Gobernación de Cundinamarca. (s.f.). Proyecto Productivo de Seguridad Alimentaria con Quinua. *Proyecto Productivo de Seguridad Alimentaria con Quinua*, 0, 0, 3-26. Cundinamarca. Recuperado el 15 de 09 de 2017
- Gomez, J. (2015). Forma de organización social de la producción , distribución y comercialización de la quinua en Asoquinua Tenjana en Cundinamarca. *VirtualPro*, (164), 1–26.
- Granados, C., Guzman, L., Acevedo, D., Diaz, M. y Herrera, A. (2014). Propiedades funcionales del almidón de Sagu (Maranta arundinacea). *Bioteología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 12(2), 90–96. Retrieved from <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2048/login?user=proveedor&pass=danue0a0&url=http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2051/login.aspx?direct=true&db=zbh&AN=114304589&lang=es&site=ehost-live>
- Hernández, M., Torruco, J. G., Chel, L., y Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán , México. *Ciencia Y Tecnología de Alimentos*, 2008(2894), 718–726.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2004). *NTC 926 Almidón de Maíz sin Modificar. 2a edición*. Bogotá.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2009). *NTC 529 Cereales y productos Cereales. Determinacion del contenido de humedad*. Bogotá.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2015). *Producción y Mercado de la Quinua en Bolivia*. (J. Risi, W. Rojas, & M. Pacheco, Eds.). La Paz. Retrieved from <http://repiica.iica.int/docs/b3763e/b3763e.pdf>

- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2015). *Caracterización del valor nutricional de alimentos* (0th ed.). Montevideo. Retrieved from <http://repiica.iica.int/docs/B3885e/B3885e.pdf> www.iica.int
- Jager, M. (2015). El cultivo de la Quinoa en Colombia y sus perspectivas. In *Memorias* (p. 55).
- Jan, K. N., Panesar, P. S., Rana, J. C., y Singh, S. (2017). Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 102, 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027>
- Jan, K. N., Panesar, P. S., y Singh, S. (2017). Process standardization for isolation of quinoa starch and its characterization in comparison with other starches. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 0(0), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9574-6>
- Landires, D., Marquez, G., y Cornejo, F. (2013). *Análisis del Contenido Amilosa- Amilopectina en seis Variedades de Arroz Ecuatoriano*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Retrieved from https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24285/1/Articulo_amilosa_amlopectina.pdf
- Lindeboom, N., Chang, P. R., Falk, K. C., y Tyler, R. T. (2005). Characteristics of starch from eight quinoa lines. *Cereal Chemistry*, 82(2), 216–222. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0216>
- Luna, M., y Bárcenas, M. E. (2011). envejecimiento del pan causas y soluciones.pdf. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 40–53.
- Martínez, J., Hernández, J., y Arias, A. (2017). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de arroz (*Oryza sativa* L) blanco e integral. *Asociación Colombiana de Ciencia Y Tecnología de Alimentos*, 25(41), 15–30.

Martínez, O., Lapo, B., Pérez, J., Zambrano, C., y Maza, F. (2015). Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador Gelatinization mechanism of native starch from exportable banana of Ecuador Abstract Mecanismo de gelatinização do amido nativo de banana exportável do Equador. *Revista Colombiana de Química*, 44, 16–21.

Ministerio de Agricultura y Riego (2017). La Quinoa: Dirección General de Políticas Agrarias Producción y Comercio del Perú Apoyo Estadístico. Anexos, 1–8. Retrieved from <http://www.quinuinternacional.org.bo>

Montoya, L. A., Martínez, L., y Peralta, J. (2005). Analisis de variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de quinua en Colombia. *Innovar, Enero a Ju*, 1–17. <http://dx.doi.org/10.15446/innovar>

Palacio, J., y Peñata, Y. (2012). *Aumento del Rendimiento en la Extracción del Almidón a partir del Grano de Maíz y la Influencia del Carbonato de Ácido Sódico en las Propiedades Físico-Químicas del Slurry*. UNAD. Retrieved from <http://repository.unad.edu.co:8080/bitstream/10596/1668/1/72286651.pdf>

Procolombia. (2015). Quinoa Oportunidad de Exportación a Canadá. Retrieved from <http://www.procolombia.co/memorias/oportunidades-comerciales-la-quinua-en-canada>

Quinto, D. A., Córdor, K., Solano, M. Q., y Silva, C. E. (2015). Extraction and Characterized starch Three Varieties of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) Negra Collana, Pasankalla Roja y Blanca Junín. *Revista Soc. Quím. Perú*, 81(1), 44–54.

Sánchez, L., Solorza, J., Méndez, G., Paredes, O., y Bello, L. (2002). Isolation and partial characterization of *Okenia* (*Okenia hypogaea*) starch. *Starch/Staerke*, 54(5), 193–197. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200205\)54:5<193::AID-STAR193>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200205)54:5<193::AID-STAR193>3.0.CO;2-J)

Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guia de campo de los cultivos andinos*. Fao; Anpe-Perú

(First). Lima, Perú.

Velásquez, F., y Velezmoro, C. (2018). Rheological and viscoelastic properties of Andean tubers starches. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 189–197.

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.03>

Zamudio, P., Tirado, J., Monter, J. G., Aparicio, A., Torruco, J., Salgado, R., y Bello, L. (2015).

In vitro Digestibility and Thermal, Morphological and Functional Properties of Flours and

Oat Starches of Different Varieties. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 14(February

2016), 81–97. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v14n1/v14n1a8.pdf>