

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE CIENCIAS QUÍMICAS



**TRABAJO PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADA EN CIENCIAS
QUÍMICAS**

POLIMEROS NATURALES ABSORBENTES
POR: FABIOLA ROCIO VALDIVIESO MOLINA

TUTOR: PhD. PATRICIA A. MOLLINEDO

LA PAZ – BOLIVIA

Junio, 2019

Dedicado a mi papá, Rolando Valdivieso F.

Por quererme con todo el amor del mundo.



«La felicidad es amor, no otra cosa. El que sabe amar es feliz»

Hermann Hesse

AGRADECIMIENTOS

A la Dr. Patricia Mollinedo por la orientación y la dedicación al enseñar. Por permitirme realizar este trabajo.

Al Dr. Peñarrieta, Dr. Vila y Dr. Gúzman por motivar a la curiosidad y a profundizar el conocimiento.

A Jorge Yañiquez y Susana Huanca por toda la ayuda en laboratorio, sin la cual no hubiera realizado este trabajo.

A aquellas personas sin las cuales nada sería igual, y que tuve mucha suerte en conocer: Aleyda Huayhua, Noemi Quiroz, José Antonio Ruiz, Abel Gutiérrez, Eduardo Oña, Angélica Mendoza, Carolina Triguero, Grover Castañeta.

A Natalia Guzmán, por ser esa amiga incondicional, alguien en quien confiar siempre y un apoyo en cada momento de mi vida.

A mi hermano, José Octavio, por estar siempre y por todos aquellos momentos inolvidables y mágicos.

Y sobre todo a mi mamá, por todo el amor, paciencia y confianza. Por enseñarme a buscar la libertad en un mundo lleno de reglas y estereotipos.

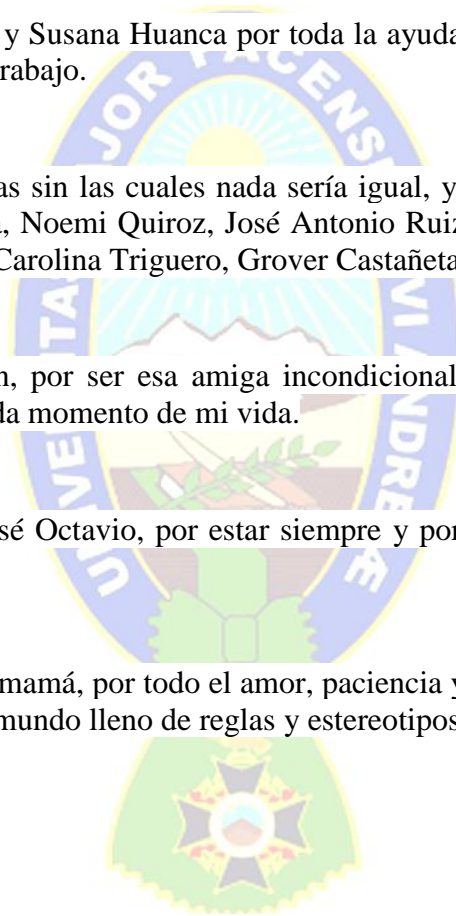


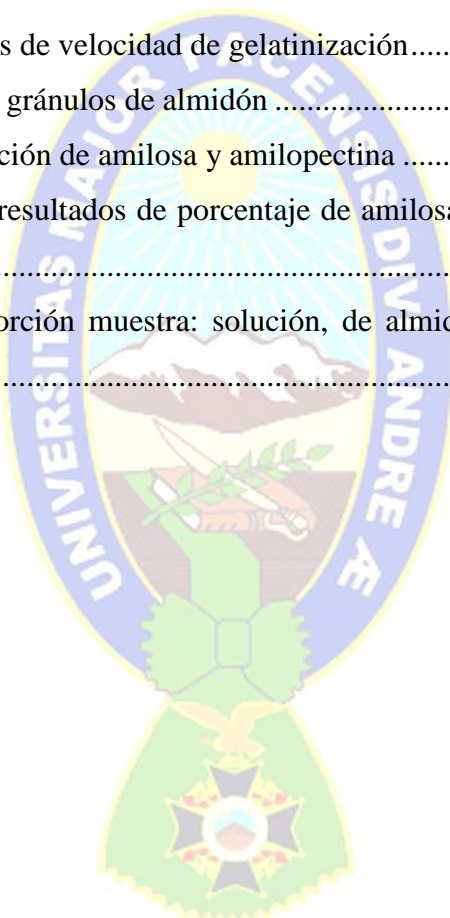
TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	- 1 -
ABSTRACT	- 3 -
1. MARCO INTRODUCTORIO.....	- 4 -
1.1 Introducción	- 4 -
1.2 Hipótesis.....	- 6 -
1.3 Objetivos	- 6 -
1.3.1 Objetivo general.....	- 6 -
1.3.2 Objetivos específicos.....	- 6 -
1.4 Justificación.....	- 7 -
2. MARCO TEORICO.....	- 9 -
2.1. Almidón	- 9 -
2.1.1 Amilosa	- 10 -
2.1.2 Amilopectina.....	- 11 -
2.1.3 Gránulo de almidón.....	- 11 -
2.1.4 Valores bibliográficos de amilosa y amilopectina	- 13 -
2.3 Gelatinización y Retrogradación.....	- 14 -
2.3.1 Proceso de Gelatinización	- 14 -
2.3.2 Proceso de Retrogradación.....	- 16 -
2.4 Polímeros absorbentes.....	- 18 -
3. METODOLOGIA	- 20 -
3.1 Extracción de almidones	- 20 -
3.1.1 Almidón de papa	- 20 -
3.2.2 Almidón de quinua.....	- 21 -
3.2.3 Almidón de yuca	- 22 -

3.2.4 Almidón de trigo	- 22 -
3.3 Humedad	- 23 -
3.4 Gelatinización	- 23 -
3.4 Microscopía.....	- 24 -
3.5 Cuantificación de amilosa y amilopectina	- 25 -
3.6 Retrogradación	- 26 -
3.7 Absorción	- 26 -
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 27 -
4.1 Rendimiento	- 27 -
4.2 Humedad	- 27 -
4.3 Gelatinización	- 28 -
4.4 Morfología del grano de almidón.....	- 31 -
4.5 Cuantificación de Amilosa y Amilopectina mediante espectrofotometría UV-Vis-	34
-	-
4.6 Comparación de los resultados de porcentajes de amilosa y amilopectina obtenidos mediante dos métodos: microscopía y espectrofotometría Uv-Vis.....	- 37 -
4.7 Almidones retrogradados	- 38 -
4.9 Absorción	- 38 -
5. CONCLUSIONES	- 41 -
6. BIBLIOGRAFIA	- 44 -
ANEXO 1: Datos experimentales de humedad de cada almidón	- 48 -
ANEXO 2: Termogramas de Gelatinización	- 48 -
ANEXO 4: Datos experimentales para la cuantificación de amilosa y amilopectina.	- 52 -
ANEXO 4: Resultados experimentales de la curva de calibración de cuantificación de amilosa por uv-vis y resultados experimentales de absorbancia de cada almidón	- 53 -
ANEXO 5: Resultados experimentales de absorción.....	- 53 -

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores bibliográficos de porcentaje de amilosa en cada almidón.	- 13 -
Tabla 2. Rendimiento de almidón en diferentes muestras	- 27 -
Tabla 3. Humedad en almidones	- 27 -
Tabla 4. Resultados de gelatinización	- 28 -
Tabla 5. Valores calculados de velocidad de gelatinización	- 29 -
Tabla 6. Morfología de los gránulos de almidón	- 31 -
Tabla 7. Porcentajes y relación de amilosa y amilopectina	- 35 -
Tabla 8. Comparación de resultados de porcentaje de amilosa y amilopectina obtenidos por dos métodos.	- 37 -
Tabla 9. Relación de absorción muestra: solución, de almidones sin retrogradación y retrogradados	- 39 -



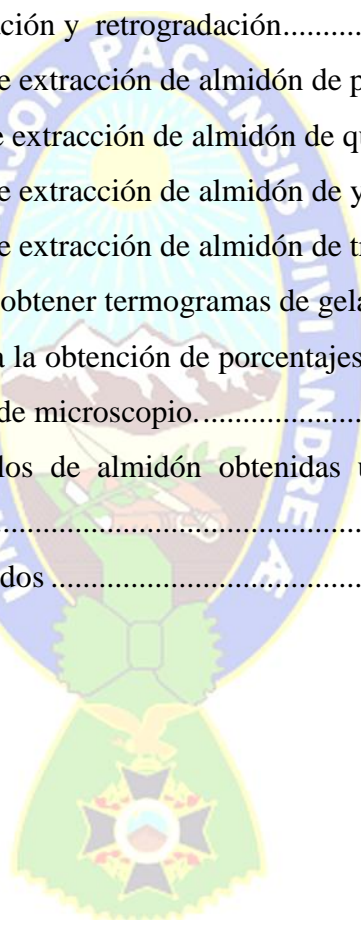
INDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1. Relación de temperatura de gelatinización y gelatinización máxima en función de la velocidad	- 30 -
Gráfica 2. Comparación de Diámetros de gránulos de almidón	- 32 -
Gráfica 3. Comparación de áreas de gránulos de almidón.....	- 33 -
Gráfica 4. Comparación de perímetros de gránulos de almidón.....	- 33 -
Gráfica 5. Curva de calibración para cuantificación de Amilosa.....	- 35 -
Gráfica 6. Porcentajes de amilosa y amilopectina	- 36 -
Gráfica 7. Capacidad absorbente de almidones sin retrogradar y retrogradados.....	- 39 -



INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Modelo de la estructura de amilosa.....	- 10 -
Imagen 2. Modelo de la estructura de amilopectina	- 11 -
Imagen 3. Modelo del granulo de almidón	- 13 -
Imagen 4. Termograma de Gelatinización. Esquema del hinchamiento, ruptura y dispersión de los gránulos de almidón durante la gelatinización.....	- 15 -
Imagen 5. Representación sistemática de los cambios que se produce en el almidón durante los procesos de gelatinización y retrogradación.....	- 17 -
Imagen 6. Esquema del método de extracción de almidón de papa.....	- 20 -
Imagen 7. Esquema del metodo de extracción de almidón de quinua	- 21 -
Imagen 8. Esquema del método de extracción de almidón de yuca.....	- 22 -
Imagen 9. Esquema del método de extracción de almidón de trigo.....	- 23 -
Imagen 10. Rampa utilizada para obtener termogramas de gelatinización.....	- 24 -
Imagen 11. Modelo utilizado para la obtención de porcentajes aproximados de amilosa y amilopectina mediante imágenes de microscopio.....	- 25 -
Imagen 12. Imágenes de gránulos de almidón obtenidas utilizando un microscopio (lente: 100x)	- 34 -
Imagen 13. Almidones retrogradados	- 38 -



RESUMEN

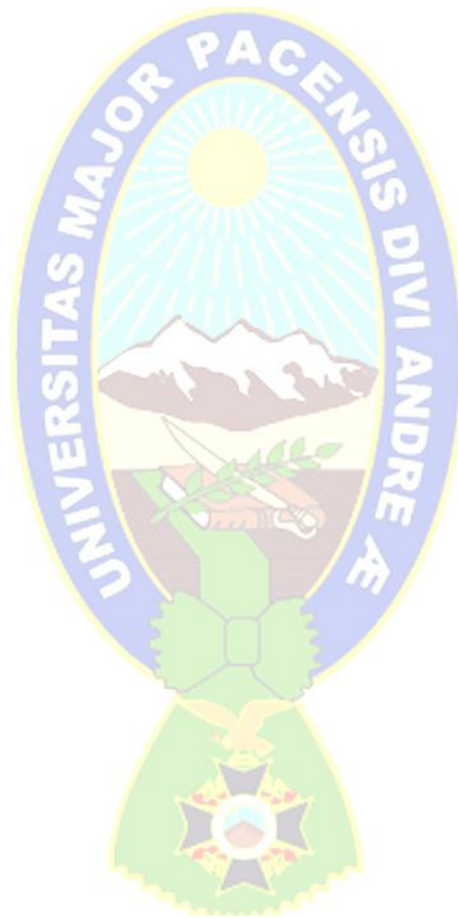
Los polímeros absorbentes tienen una gran aplicación tanto en industrias de alimentos como en cosméticos, productos de limpieza, entre otras. Sin embargo, la mayoría de los polímeros utilizados actualmente no pueden ser biodegradados en la naturaleza. Es por eso, que la investigación de propiedades absorbentes de polímeros naturales ha llegado a tener una gran importancia y aplicación.

El almidón, uno de los polímeros más abundantes en la naturaleza podría llegar a tener una amplia perspectiva en la industria en cuanto a su capacidad absorbente, sin embargo se requiere profundizar la investigación. Si bien todos los almidones tienen amilosa y amilopectina como parte de cada granulo de almidón; almidones de diferente origen botánico presentan diferentes características estructurales.

Se han analizado ciertas especificaciones estructurales como humedad, características de gelatinización, porcentaje de amilosa y amilopectina, morfología del gránulo de almidón y retrogradación; para determinar la relación entre las mismas con la capacidad absorbente de almidones de cinco diferentes orígenes botánicos: papa (*Solanum tuberosum*), quinua (*Chenopodium quinoa*), yuca (*Manihot esculenta*), trigo (*Triticum aestivum*) y arroz (*Oryza sativa*) como muestra estándar.

En el presente trabajo se determinó que el almidón de quinua retrogradado es el de máxima capacidad absorbente. Este almidón presenta un gránulo de almidón más pequeño, la relación más alta de amilosa y amilopectina (mayor porcentaje de amilopectina) y bajo grado de gelatinización. En este tipo de almidón, la retrogradación favorece la absorción debido a la ruptura de los gránulos, resultando en mayor superficie de contacto y en que las moléculas de agua son más fácilmente retenidas en la estructura, y se forman puentes de hidrogeno. Aun así, los demás llegan a tener capacidad absorbente inmediata.

Palabras clave: almidón de papa, almidón de quinua, almidón de yuca, almidón de trigo, almidón de arroz, absorción, características estructurales de almidones, morfología de gránulos de almidón, gelatinización, retrogradación.



ABSTRACT

Absorbent polymers have a wide application in food industries, as well as in cosmetics, cleaning products, between others. However, most of the regularly used polymers cannot be biodegraded in nature. That is the reason the investigation on the absorbent properties of natural polymers has come to have great importance and application.

Starch, one of the most abundant polymers in nature, could have a broad perspective in the industry world in terms of its absorbent capacity. Nevertheless, it is required to further the investigation. While all starches have amylose and amylopectin as part of each starch granule; starches of different botanical origin present different structural characteristics.

Different structural specifications have been analyzed, like humidity, gelatinization characteristics, amylose and amylopectin percentages, morphology of the starch granule and retrogression; to determine the relationship between them with the absorbent capacity of starches from five different botanical origins: potato (*Solanum tuberosum*), quinoa (*Chenopodium quinoa*), yucca (*Manihot esculenta*), wheat (*Triticum aestivum*) and rice (*Oryza sativa*) like a standard sample.

In the present paper, the retrograde quinoa starch was determined as the maximum absorbing capacity. This starch presents the smallest starch granule, the highest relation of amylose and amylopectin (higher percentage of amylopectine), low degree of gelatinization. In this type of starch retrogression favors the absorption due to the breakage of the granules, resulting in greater contact Surface, water molecules are retained easier in the structure and hydrogen bridges are formed. Even so, the rest have immediate absorbent capacity

Key words: potato starch, quinoa starch, yucca starch, wheat starch, rice starch, absorption, starch structural characteristics, morphology of starch granules, retrogression.

1. MARCO INTRODUCTORIO

1.1 Introducción

Los polímeros naturales son macromoléculas biodegradables sintetizadas durante los ciclos de crecimiento de los organismos. Estas formas complejas de carbohidratos, llamados polisacáridos, consisten en enlaces glucosídicos que suelen tener funciones estructurales o de reserva de energía en el reino vegetal. (Vasiljević & Pavlović, 2017)

Los polisacáridos más importantes presentes en la naturaleza son el almidón, el glucógeno y la celulosa; todos ellos homopolímeros formados por glucosa. (Ruiz Esparza & Martínez Arronte)

Los carbohidratos asimilables (entre ellos el almidón) constituyen la principal fuente de energía para el ser humano (son el componente mayoritario de la dieta), con un valor energético de 4 kcal por gramo (González Blair, 2019). Sin embargo, el almidón también es materia prima con un amplio campo de aplicaciones que va desde aditivos de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos, empaques biodegradables, entre otros (Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008). Este biopolímero natural es uno de los más utilizados por su abundancia, disponibilidad y relativamente bajo costo (Zhang, y otros, 2013).

Se calcula que anualmente se extraen 60 millones de toneladas de almidón para uso como agentes estabilizadores en sopas y alimentos congelados, revestimiento para pastillas y papel, adhesivo para estampillas y madera laminada, para el acabado de textiles, como materia prima para elaborar etanol e incluso como agente de cohesión en el concreto (FAO, El mercado de almidón añade valor a la yuca, 2006).

Estructuralmente, el almidón está formado por dos polisacáridos químicamente distinguibles: amilosa y amilopectina (Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008).

La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4), en el cual algunos enlaces α (1-6) pueden estar presentes. La amilopectina es un polímero

ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces α (1-4) y en un 4-6% con uniones α (1-6). (Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008)

El uso del almidón en diferentes aplicaciones industriales depende de propiedades como: gelatinización, contenido de amilosa y amilopectina, retrogradación, tamaño y superficie de grano, humedad, absorción, etc. (Granados C, Guzman C, Acevedo C, Díaz M, & Herrera A, 2014). Las cuales dependen del tipo almidón, es decir del origen botánico del mismo.

Estas características estructurales pueden llegar a tener una estrecha relación unas con otras. De esta manera el uso de almidones como absorbentes está restringida por las características estructurales del mismo.

Los polímeros absorbentes son redes tridimensionales que pueden absorber y mantener un volumen considerable de líquido. Debido a sus excelentes propiedades, los polímeros absorbentes tienen un amplio campo de aplicación, se usan como floculantes para el tratamiento de aguas residuales, sistemas de administración de fármacos y productos higiénicos como pañales y servilletas desechables (Zhi Zhanga, y otros, 2013). El almidón ha llegado a tener un alto interés al ser un material polimérico polisacárido natural fácilmente biodegradable y respetuoso con el medio ambiente (Songa, Qi, & Wu, 2011).

Si bien es necesaria la búsqueda de métodos para obtención de almidones modificados con mayor superficie y volumen de grano para aumentar su capacidad absorbente, también es importante el conocimiento de las diferencias estructurales de almidones de diferente origen botánico. De esta manera establecer una relación entre características estructurales y capacidad absorbente de los mismos.

En este caso, el estudio se enfocará en el análisis de cinco almidones de diferente origen: almidón de papa (*Solanum tuberosum*), almidón de quinua (*Chenopodium quinoa*), almidón de yuca (*Manihot esculenta*), almidón de trigo (*Triticum aestivum*) y almidón de arroz (*Oryza sativa*) como muestra estándar.

1.2 Hipótesis

La capacidad absorbente de los almidones tiene una estrecha relación con otras características estructurales de los mismos, como son: porcentaje de amilosa y amilopectina, gelatinización, humedad, tamaño y área de grano, retrogradación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la capacidad absorbente de almidón de papa, quinua, yuca, trigo y arroz; analizando su relación con otras características estructurales.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar el rendimiento de los métodos de extracción para almidón de: papa, quinua, yuca y trigo. En el caso del almidón de arroz, se utilizará un reactivo estándar con el objetivo de tener una muestra estándar para comparación.

Determinar el grado de gelatinización de los almidones de papa, quinua, yuca, trigo y arroz.

Determinar las características principales de los gránulos de almidón aislado de papa, quinua, yuca, trigo y arroz. Características como humedad, morfología y porcentaje de amilosa y amilopectina.

Determinar la relación absorbente de peso de almidón y volumen de líquido para cada tipo de almidón aislado y retrogradado, que podría ser aplicado en la industria de alimentos.

1.4 Justificación

Actualmente se extraen aproximadamente 60 millones de toneladas de almidón, de las cuales el 60% se utiliza en industrias de alimentación y el 40% en industrias no alimentarias. Los cultivos más importantes en cuanto a producción de almidón son: maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*), trigo (*Triticum aestivum*), y papa (*Solanum tuberosum*). En Centro América y Sud América también hay una alta producción de almidón de yuca (*Manihot esculenta*). (Ferrández García, Ferrández García, Ferrández Villena, Andreu Rodríguez, & García Ortuño)

Los almidones se han utilizado en la industria de alimentación y para otros usos desde la antigüedad. Los egipcios, y posteriormente los romanos utilizaron los almidones como adhesivos, uso que aún sigue en vigencia. Los griegos lo utilizaron con fines medicinales. (Ferrández García, Ferrández García, Ferrández Villena, Andreu Rodríguez, & García Ortuño)

A parte del sector alimentario, hoy en día los almidones también se utilizan con otros fines industriales: como aditivo en el cemento para mejorar el tiempo de curado; para mejorar la viscosidad en los lodos de perforación en los pozos de petróleo; en la fabricación de papel; en los enlucidos de yeso; como recubrimiento de semillas; en aplicación de fertilizantes; en envases; adhesivos; bioplásticos, etc. (Ferrández García, Ferrández García, Ferrández Villena, Andreu Rodríguez, & García Ortuño).

Como se señala anteriormente, es notable el potencial valor comercial de estos polímeros naturales. Es por esto que es necesario la investigación con el objetivo de tener un panorama de todas las posibles aplicaciones industriales, no solo de los almidones de más alta producción mundial si no de aquellos con alta producción en Bolivia, como podrían ser el almidón de quinua, papa, arroz, yuca, ente otros.

Las características físicas y químicas de los gránulos de almidón están involucrados en sus propiedades y funcionalidad. El conocimiento de estos permite la selección de almidón con las propiedades necesarias para una aplicación en particular y también, este conocimiento es útil para seleccionar la fuente de almidón y el método de modificación apropiado para obtener las

características funcionales requeridas para un uso final específico. (Cornejo Ramírez, y otros, 2018)

Específicamente, la capacidad absorbente de ciertos almidones puede llegar a definir ciertas aplicaciones de gran importancia industrial. (Zhang, y otros, 2013)

El almidón puede ser utilizado como absorbente en diferentes áreas industriales como alimentos, medicina, industria química, cosmética, agricultura. Por ejemplo, en el campo de los alimentos, ciertos almidones modificados son ideales para absorber edulcorantes, condimentos ácidos, enzimas, saborizantes, etc. (Zhang, y otros, 2013)

Con este trabajo se pretende ampliar el conocimiento de ciertas características de algunos almidones (papa, quinua, yuca, trigo y arroz), y específicamente realizar análisis de la capacidad absorbente de cada uno; relacionándola con otras características estructurales específicas. Esto facilitaría la identificación de posibles usos industriales para cada uno de los almidones estudiados.



2. MARCO TEORICO

2.1. Almidón

El almidón es el polisacárido principal en las plantas y se presenta naturalmente en forma de gránulos en los cloroplastos de hojas verdes y amiloplastos de semillas, legumbres y tubérculos (Cornejo Ramírez, y otros, 2018) (Villaruel, Gómez, Vera, & Torres, 2018). Químicamente se compone de dos polímeros de glucosas; amilosa y amilopectina.

La morfología, composición química y estructura supramolecular de los gránulos de almidón son características importantes que llegan a afectar las propiedades funcionales. (González Blair, 2019).

Almidones de diferente origen botánico muestran variación en su composición química y estructural, lo que influye en sus propiedades y funcionalidad. (Cornejo Ramírez, y otros, 2018)

Las propiedades más importantes a considerar para determinar la utilidad del almidón en la elaboración de alimentos y otras aplicaciones industriales incluyen las propiedades fisicoquímicas: gelatinización y retrogradación; y las funcionales: solubilidad, hinchamiento, absorción de agua, entre otras. (Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008)

En la industria de alimentos muchos tipos de almidones han sido desarrollados para una aplicación en particular, y han probado su utilidad como ingredientes en alimentos procesados. Son usados principalmente como una forma de secado y para producir fluidos viscosos y geles que generen la textura deseada. (Linton Charles, Ming Kao, & Chi Huangc, 2003).

2.1.1 Amilosa

La amilosa es un polímero básicamente lineal, con ciertas ramificaciones. Contiene unidades de glucosa unidas por enlaces α (1,4), en el cual algunos enlaces α (1,6) pueden estar presentes. Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad de formar enlaces por puentes de hidrógeno. (González Blair, 2019) (Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008)

Una de las características de la amilosa es la formación de enlaces de coordinación con yodo, cuyo compuesto es de color azul y presenta absorbancia a 644 nm. (González Blair, 2019) (Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008)

A temperatura ambiente y en solución, la molécula de amilosa adquiere una configuración helicoidal, en la cual cada seis residuos de glucosa constituyen una vuelta en torno al eje de simetría de la molécula. (Arzapalo Quinto & Human Condor, 2014)

El contenido de amilosa en almidones influye en las propiedades físicas y funcionalidad del mismo. (Zhang, y otros, 2013)

En la imagen 1 se muestra un modelo de la estructura de amilosa.

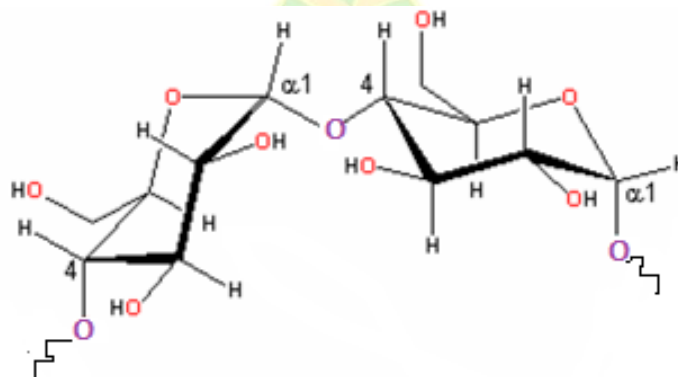


Imagen 1. Modelo de la estructura de amilosa

Fuente: Imagen modificada de (Flores Castro, 2006)

2.1.2 Amilopectina

La amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94 a 96% por enlaces α (1,4) y en un 4 a 6% con uniones α (1,6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15 a 25 unidades de glucosa. (González Blair, 2019) (Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008)

Entre sus características se encuentra la formación de un compuesto color rojizo violeta, en presencia de yodo. Este compuesto absorbe radiación a 554 nm. Además, la amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente. (González Blair, 2019) (Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008).

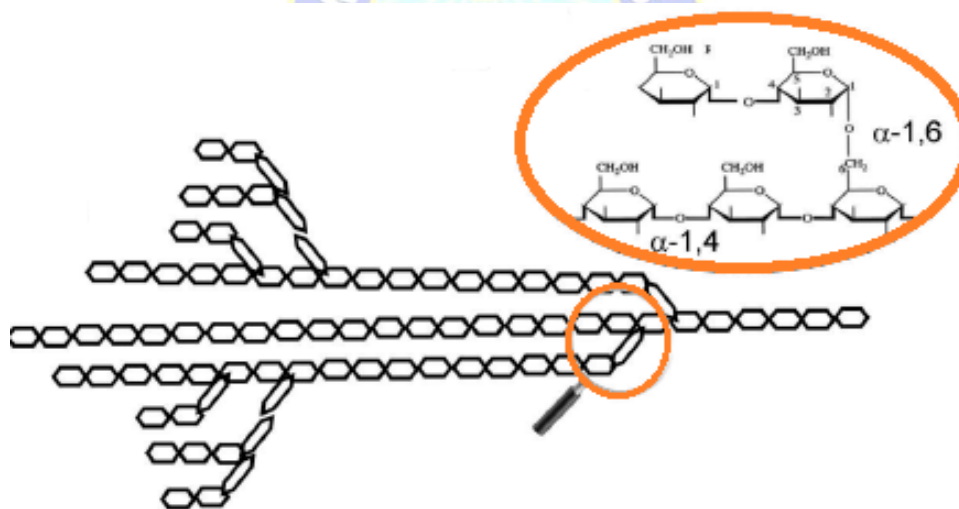


Imagen 2. Modelo de la estructura de amilopectina

Fuente: Imagen modificada de (Cornejo Ramírez, y otros, 2018)

2.1.3 Gránulo de almidón

Los gránulos de almidón se encuentran en un sistema polimérico semicristalino, donde la cristalinidad varía de 15 a 45%. El área cristalina (cristales, micelas) y el área no cristalina (amorfa, fase gel) tiene un arreglo en forma concéntrica (González Blair, 2019). La parte cristalina del granulo de almidón se refiere a una organización molecular

de manera tridimensional ordenada. Se conoce que hay dos diferentes tipos de cristales que se pueden formar cuando las dobles hélices de la amilopectina forman agregados, estos cristales presentes tienen características de dos sistemas cristalinos: hexagonales y monoclinicos. (Flores Castro, 2006).

Las capas cristalinas están conformadas por cadenas cortas lineales de amilopectina, organizadas tridimensionalmente en dobles hélices, cuyas hélices se pueden ordenar en tres arreglos que dan lugar a tres patrones de difracción de rayos X: almidón tipo A, B y C. En general los almidones de cereales presentan un patrón tipo A, con dobles hélices empaquetadas en forma monoclinica y 4 a 8 moléculas de agua. Los almidones de tubérculos exhiben un patrón tipo B, con dobles hélices de amilopectina empaquetadas en forma hexagonal y 36 moléculas de agua. Los almidones de ciertas raíces y semillas muestran un patrón tipo C, el cual es una mezcla intermedia de los patrones tipo A y B. (González Blair, 2019)

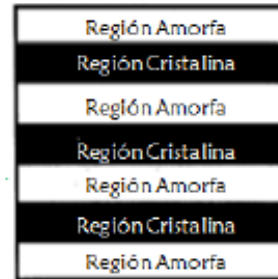
Los puntos de ramificación de la amilopectina corresponden a las zonas amorfas. (González Blair, 2019)

El porcentaje de amilosa influye en la formación de cristales y la organización cristalina dentro de los gránulos de almidón. Esto influye en propiedades relacionadas con la captación de agua como hinchazón y gelatinización; también tiene relación con el tamaño del granulo (Cornejo Ramírez, y otros, 2018).

Otro factor crucial para determinar algunas propiedades del almidón es la distribución del largo de la cadena de amilopectina, que varía de acuerdo al origen botánico del almidón. (Cornejo Ramírez, y otros, 2018).



Gránulo de almidon



Organización de capas internas

Imagen 3. Modelo del granulo de almidón

Fuente: Imagen modificada de (Vignola, 2017)

2.1.4 Valores bibliográficos de amilosa y amilopectina

A continuación se muestran los valores bibliográficos de porcentaje de amilosa de cada almidón

Tabla 1. Valores bibliográficos de porcentaje de amilosa en cada almidón.

Almidón	% Amilosa	Fuente
Papa	24,3 a 29,1	(Martínez, Málaga, Betalleluz, Ibarz, & C, 2015)
Quinoa	7 a 27	(Burrieza, Martinez Tosar, Avella Grilla, Cobayashi, & Maldonado, Argentina-2013)
Yuca	17	(Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008)
Trigo	17 a 32	(González Blair, 2019)
Arroz	15 a 30	(Zaczkuk & da Maia de Castro, 2004)

En la tabla 2 se muestran los valores bibliográficos de porcentaje de amilosa de cada almidón

2.3 Gelatinización y Retrogradación

2.3.1 Proceso de Gelatinización

EL proceso de gelatinización se da cuando los gránulos de almidón son calentados en presencia de agua y sufren una transición de fase orden-desorden. Este proceso se da en un rango de temperaturas característico para cada tipo de almidón, que lleva a la destrucción irreversible del orden molecular en los gránulos. (Vignola, 2017)

La gelatinización del almidón es un proceso endotérmico durante el cual las regiones amorfas de los gránulos comienzan a absorber agua y se hinchan, lo que provoca la disrupción de la organización radial y la ruptura de la estructura cristalina (Vignola, 2017). Depende de factores como: tamaño del gránulo, variedad del almidón, contenido de amilosa y amilopectina, pH, cantidad de agua y contenido de sales. (Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008).

Como consecuencia de estos procesos la viscosidad incrementa hasta alcanzar un valor máximo, donde el número de gránulos hinchados e intactos es el mayor que puede alcanzarse bajo las condiciones de trabajo. Si el proceso de calentamiento continúa, se produce una reducción de la viscosidad, debido a que los gránulos tienden a romperse parcial o totalmente y las moléculas de almidón se dispersan en la fase acuosa (Vignola, 2017). A continuación se muestra un esquema del proceso de gelatinización en un termograma.

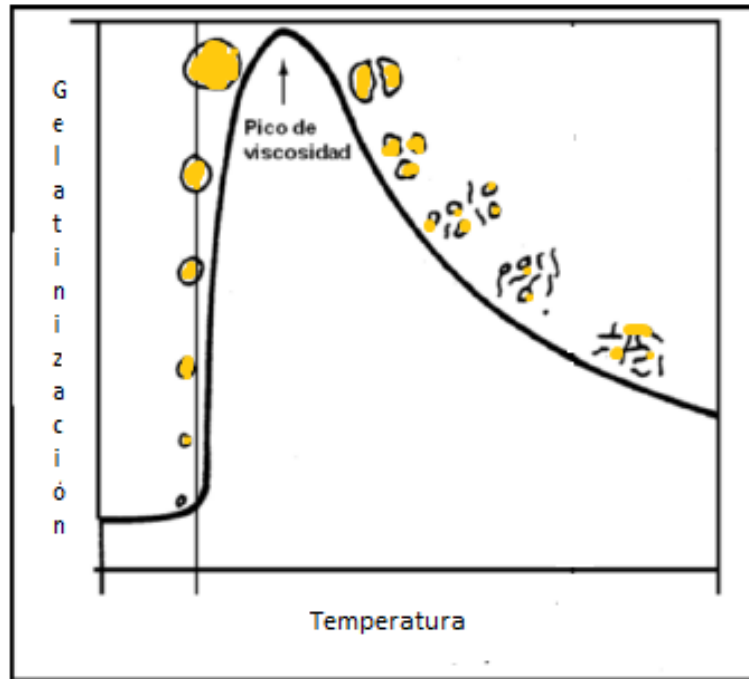


Imagen 4. Termograma de Gelatinización. Esquema del hinchamiento, ruptura y dispersión de los granos de almidón durante la gelatinización

Fuente: Imagen modificada de (Vignola, 2017)

El análisis de los termogramas que se obtienen al estudiar la gelatinización de un almidón permite determinar la temperatura a la que ocurre el proceso y la entalpía máxima de gelatinización (ΔH). Esto es muy útil cuando se desea inferir las diferencias estructurales de almidones. (Vignola, 2017)

Altas temperaturas de transición se han relacionado con un alto grado de cristalinidad, indicando estabilidad estructural y resistencia de los granos a la gelatinización. Así mismo, el ΔH de gelatinización es generalmente interpretado como la cantidad de estructura de doble hélice en una suspensión de almidón que es desorganizada durante el calentamiento en presencia de agua. (Vignola, 2017)

Durante el proceso de gelatinización ocurre lo siguiente: Al aumentar la temperatura las moléculas de almidón vibran rompiendo los puentes de hidrogeno intermoleculares de las zonas amorfas de los granos, lo que provoca el hinchamiento de los granos por una absorción progresiva e irreversible de agua que finalmente se liga a la estructura.

(Pineda Gómez, Coral, Arciniegas, Rorales Rivera, & Rodríguez García, 2010). Algunas moléculas de amilosa se difunden hacia el agua y, si el calentamiento continúa, se rompen los gránulos. (Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008)

El comportamiento de gelatinización se determina después de establecer experimentalmente el contenido de humedad del almidón a analizar. (Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008)

2.3.2 Proceso de Retrogradación

La retrogradación de almidón ocurre después de la gelatinización. Este proceso consiste en la recristalización de la amilopectina en los granos de almidón gelatinizados pasando de un estado amorfo o desordenado a uno más cristalino u ordenado.. Es un fenómeno que ocurre cuando el almidón gelatinizado se enfría lentamente. (Wang, Li, Copeland, Niu, & Wang, 2015)

En este proceso las moléculas de amilosa se alinean, forman puentes de hidrógeno, recristalizan y se insolubilizan al alcanzar la temperatura ambiente. Es un proceso complejo y depende de factores como tipo y concentración de almidón, regímenes de cocimiento y enfriamiento, pH, contenido de humedad y presencia de solutos. (Hernández Medina, Torruco Uco, Chel Guerrero, & Betancur Ancona, 2008)

Se ha encontrado que la retrogradación de la amilosa es un proceso que ocurre rápidamente en comparación con la retrogradación de la amilopectina, debido a los puentes de hidrogeno que pueden generarse entre cadenas paralelas adyacentes, así como en las ramificadas. (Flores Castro, 2006)

En el caso de la amilopectina, esta se une al agua y se asocia lentamente, desarrollando cristales más perfectos que la amilosa conforme el almacenamiento aumenta. Dado que la mayoría de los almidones contiene un 70 a 80% de amilopectina, los procesos de gelatinización y retrogradación están determinados por las cadenas de amilopectina que

no están en equilibrio, así como de su punto de fusión y de su conducta de recristalización. (Flores Castro, 2006).

La retrogradación del almidón es favorecida por ciertas características del almidón y depende del proceso al que es sometido. El contenido de amilosa y del complejo lípido-amilosa son dos de los factores que limitan la retrogradación. (Wang, Li, Copeland, Niu, & Wang, 2015)

Un almidón con mayor porcentaje de amilosa y menor peso molecular se somete a mayor retrogradación. El tamaño del gránulo de almidón también afecta la retrogradación, siendo los gránulos más largos los más estables. Los gránulos de almidón más pequeños son los más fáciles de retrogradar. Aun así, el tamaño del gránulo de almidón tiene una baja influencia en la retrogradación cuando hay mayores variaciones en otras características estructurales de cada gránulo. (Wang, Li, Copeland, Niu, & Wang, 2015)

A continuación se observa una representación de los procesos de gelatinización y retrogradación que se da en los gránulos de almidón.



Imagen 5. Representación sistemática de los cambios que se produce en el almidón durante los procesos de gelatinización y retrogradación

Fuente: Imagen modificada de (Wang, Li, Copeland, Niu, & Wang, 2015)

En la imagen 5 se muestra la siguiente información:

- I. Gránulos de almidón
- II. Gelatinización: asociada con aumento de volumen en los gránulos
 - a) Lixiviación de amilosa y ruptura parcial de los gránulos
 - b) Resulta en la formación de una pasta de almidón
- III. Retrogradación:
 - a) Formación de una red de amilosa durante el enfriamiento de la pasta de almidón
 - b) Formación de cierta red cristalina u ordenada de amilopectina

2.4 Polímeros absorbentes

Los polímeros absorbentes son materiales que pueden absorber y retener una gran cantidad de agua o soluciones acuosas. Estos polímeros están constituidos por monómeros hidrófilos que conforman una red tridimensional (Teli & Mallick, 2017) (Barleany, y otros, 2015).

Los compuestos absorbentes se usan en muchos campos como el apósito para heridas por quemaduras, el sistema de entrega de medicamentos y cosméticos, liberación controlada de fertilizantes y agua, pañales de bebés. (Barleany, y otros, 2015) (Qiao, y otros, 2014)

Sin embargo, la mayoría de los polímeros absorbentes son productos a base de ácido acrílico y acrilamida y no pueden ser biodegradados en la naturaleza. Además de que son compuestos usados en artículos desechables. (Barleany, y otros, 2015) (Qiao, y otros, 2014)

Los monómeros de vinilo como el ácido acrílico y la acrilamida son interesantes en relación a absorción ya que contienen una serie de funcionalidades hidrófilas en su estructura; como los grupos carboxilo (Barleany, y otros, 2015). En el caso del almidón, los grupos hidroxilos son los que favorecen la capacidad absorbente (Songa, Qi, & Wu, 2011).

Es por esto que el almidón ha atraído una gran atención, ya que su uso no solo reduce la dependencia de monómeros derivados de la petroquímica; también proporciona materiales que pueden biodegradarse rápidamente en el medio ambiente. (Qiao, y otros, 2014) (Barleany, y otros, 2015).



3. METODOLOGIA

3.1 Extracción de almidones

3.1.1 Almidón de papa

Se utilizó una variación del método de extracción de almidón de papa señalado por (Alcón Callejas, 2016), del cual se muestra un esquema en la imagen 6.

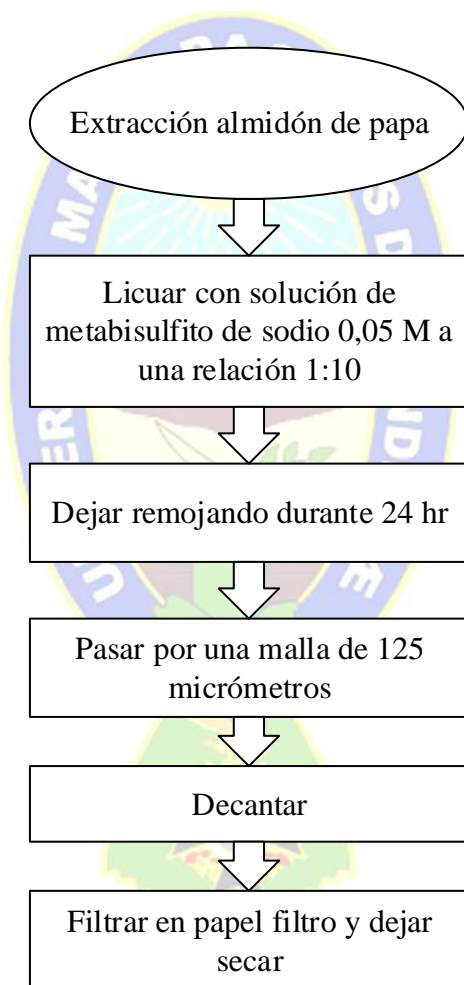


Imagen 6. Esquema del método de extracción de almidón de papa

3.2.2 Almidón de quinua

El procedimiento de extracción de quinua se realizó utilizando el método señalado por (Arzapalo Quinto & Human Condor, 2014), un esquema del mismo se muestra en la imagen 7.

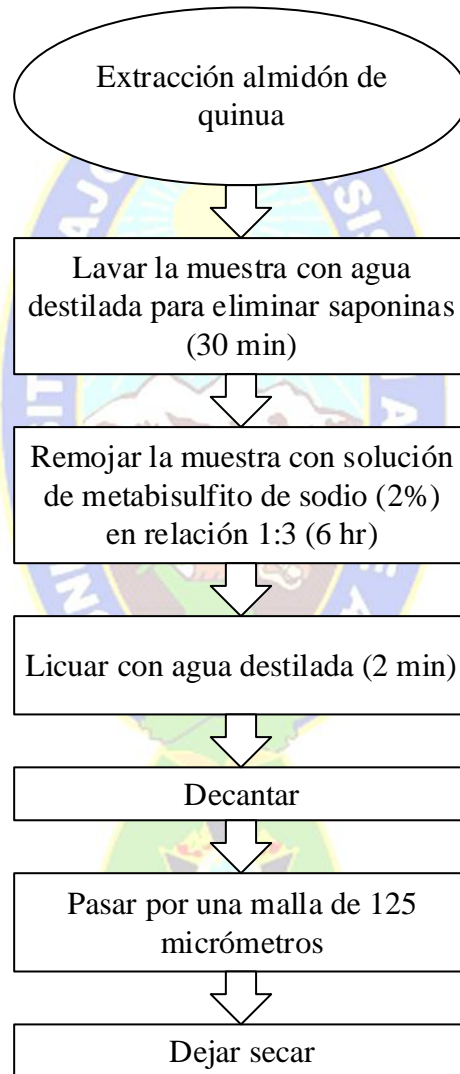


Imagen 7. Esquema del metodo de extracción de almidón de quinua

3.2.3 Almidón de yuca

La extracción de yuca se realizó utilizando el método señalado en (Aristizábal & Sánchez, 2007), un esquema del mismo se muestra en la imagen 8.

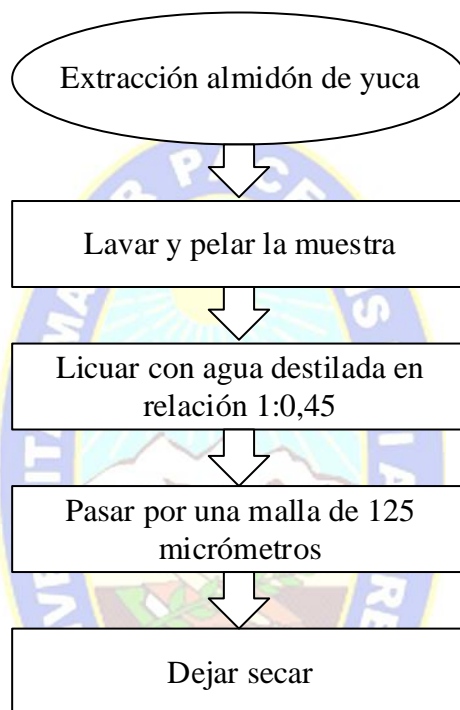


Imagen 8. Esquema del método de extracción de almidón de yuca

3.2.4 Almidón de trigo

La extracción del almidón de quinua se realizó por un método modificado del método de Vansteelandt and Deloear. Un esquema del método utilizado se muestra en la imagen 9.

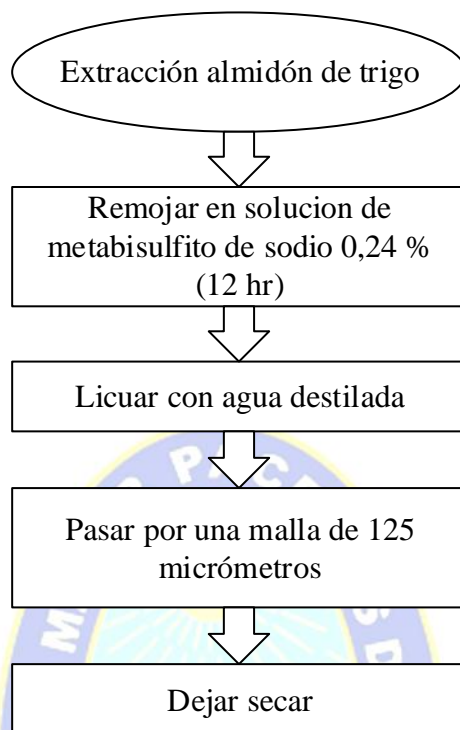


Imagen 9. Esquema del método de extracción de almidón de trigo

3.3 Humedad

La humedad se determinó usando una balanza de humedad “Radwag MAC 110/WH”, en la que se colocó aproximadamente 0,2 g de cada muestra. Se realizó el procedimiento por lo menos cuatro veces por muestra. (Almidón de papa, quinua, yuca, trigo y arroz).

3.4 Gelatinización

Se utilizó el equipo “Micro visco amilógrafo Brabender”, en el que se colocó 10 g de almidón disueltos en 100 ml de agua destilada.

Se obtuvieron los termogramas de gelatinización de los cuales los datos utilizados son temperatura inicio de la gelatinización (T_i), temperatura a la que se alcanza la máxima

(TPG), gelatinización máxima (ΔH) y tiempo en el que se alcanza la máxima gelatinización (t_{maxG}).

Se realizó el análisis dos veces por cada almidón (Almidón de papa, quinua, yuca, trigo y arroz), y de los resultados obtenidos se calculó el promedio.

La rampa de temperatura utilizada fue la siguiente:

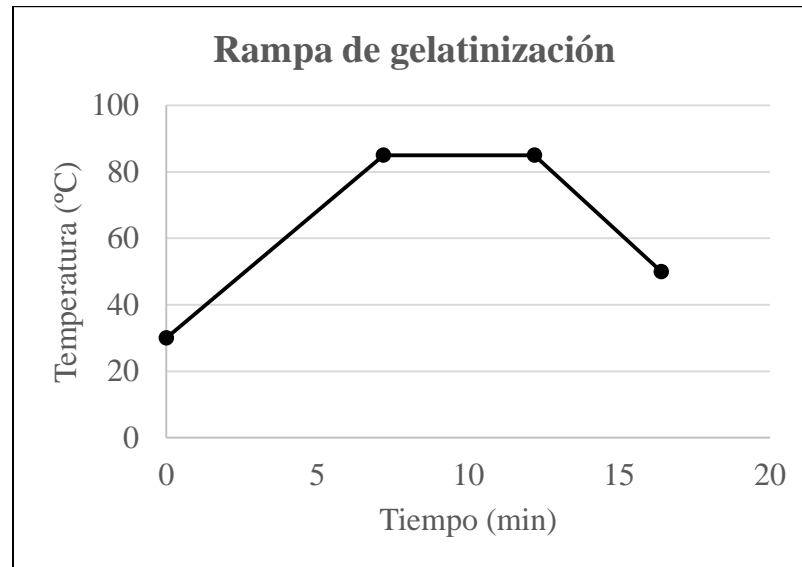


Imagen 10. Rampa utilizada para obtener termogramas de gelatinización

Fuente propia

3.4 Microscopia

Los gránulos de cada almidón se observaron en un microscopio marca "B-350 OPTIKA". De las imágenes obtenidas se midió el perímetro, área, diámetro, amilosa y amilopectina. Para estos dos últimos valores se consideró un modelo donde la amilosa es una capa relativamente uniforme y estrictamente superficial del grano, mientras la amilopectina se encuentra en la parte central del granulo; como se muestra en la siguiente imagen:

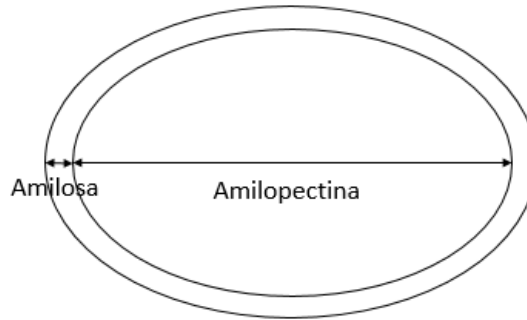


Imagen 11. Modelo utilizado para la obtención de porcentajes aproximados de amilosa y amilopectina mediante imágenes de microscopio.

Fuente propia

3.5 Cuantificación de amilosa y amilopectina

Para la cuantificación de amilosa y amilopectina se utilizó el método señalado en (Aristizábal & Sánchez, 2007).

Es un método espectrofotométrico donde se mide la absorbancia del complejo yodo-almidón. La amilosa forma hélices entorno a las moléculas de yodo, formando un complejo de color azul oscuro. La absorbancia es medida a 620 nm.

Este método solo es utilizado hasta un porcentaje de 40 % de amilosa.

El contenido de amilopectina se obtiene restando el contenido de amilosa.

Para la cuantificación se obtiene una curva de calibración de concentración vs. Absorbancia a 0%, 10%, 20%, 25%, 30% de amilosa.

Se utilizó un espectrofotómetro " (Micro miu)uQuant BIoTek, USA" y soluciones de hidróxido de sodio (1M), Etanol (95%), hidróxido de sodio (0,09M), ácido acético (1M) y Lugol (2%)

3.6 Retrogradación

Para obtener almidones retrogradados se realizó primero el proceso de gelatinización de cada almidón con un agitador de laboratorio magnético "MS H280 Pro", utilizando los resultados de temperatura a la cual se alcanza la gelatinización máxima y tiempo de gelatinización, obtenidos mediante los termogramas de gelatinización.

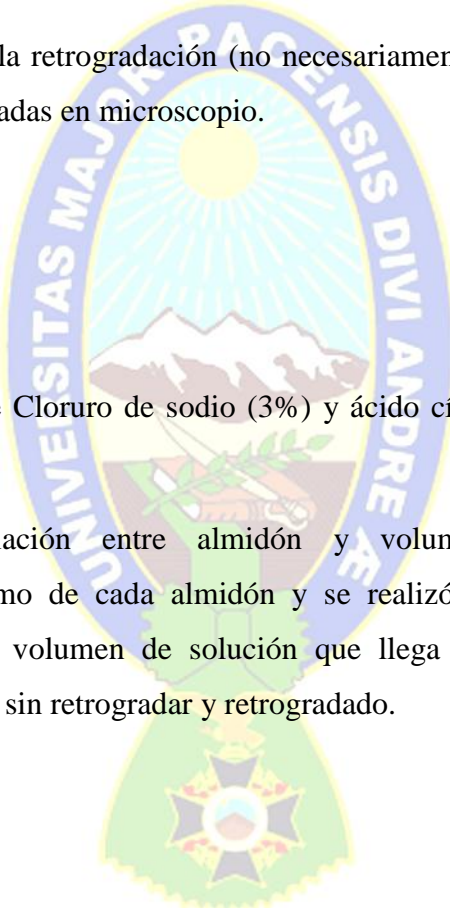
Posteriormente se dejó secar los almidones gelatinizados, en una estufa a 80 °C.

Finalmente, se comprobó la retrogradación (no necesariamente total) de los almidones, mediante imágenes observadas en microscopio.

3.7 Absorción

Se utilizó una solución de Cloruro de sodio (3%) y ácido cítrico (1%); Por su posible aplicación industrial.

Para determinar la relación entre almidón y volumen absorbido se pesó aproximadamente un gramo de cada almidón y se realizó pruebas para determinar cuánto es el máximo de volumen de solución que llega a absorber cada almidón inmediatamente, en estado sin retrogradar y retrogradado.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento

El rendimiento obtenido en la extracción de cada almidón se muestra en la Tabla 2.

Almidón	Papa	Quinoa	Yuca	Trigo
Rendimiento en relación al total de muestra (%)	9,8	6,8	15,7	53,26
Porcentaje de almidón total (Valor teórico) (%)	9 y 20,5	18,25 y 47,49	17 a 20	
Fuente	(Alcón Callejas, 2016)	(Arzapalo Quinto & Human Condor, 2014)	(Aristizábal & Sánchez, 2007)	

Tabla 2. Rendimiento de almidón en diferentes muestras

La tabla 2 muestra los porcentajes de rendimiento aislado de cuatro diferentes muestras y su comparación con valores de referencia.

En función a los métodos empleados se observa que se obtuvo el mayor rendimiento en la extracción de almidón de trigo y el menor rendimiento en la extracción de almidón de quinua. La diferencia entre los rendimientos teóricos y del trabajo se debe a la metodología de extracción adaptada a procesos industriales.

4.2 Humedad

La humedad de cada uno de los almidones estudiados se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Humedad en almidones

Almidón	Humedad (%)
Papa	13,6 ± 1,3
Quinoa	12,2 ± 0,8
Yuca	25,9 ± 2,1
Trigo	18,4 ± 1,4
Arroz	11,6 ± 0,6

En la Tabla 3 se muestran los valores de humedad de cada almidón a temperatura ambiente y su desviación estándar

La determinación de la humedad de cada almidón se la obtuvo de las muestras secadas al ambiente. Esta información influye en los análisis de gelatinización, en los cuales se utilizaron estos valores.

La capacidad de retención de agua varía de acuerdo al tipo de estructura de cada almidón, como se puede ver en los resultados de relación de amilosa y amilopectina.

Todas las medidas obtenidas para cada almidón se muestran en el Anexo 1.

4.3 Gelatinización

Los resultados de temperatura de gelatinización y otros parámetros relacionados se muestran en un termograma general para cada almidón en el Anexo 2. Del análisis de los termogramas se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de gelatinización

Almidón	Ti (°C)	TPG (°C)	ΔH (BU)	tmaxG (min)
Papa	63,05 ± 0,07	71,1 ± 0,14	2565 ± 13	5,72 ± 0,07
Quinua	61,30 ± 0,42	88,80 ± 0,00	424 ± 9	12,30 ± 0,00
Yuca	66,95 ± 0,43	74,40 ± 0,99	2078 ± 141	6,00 ± 0,24
Trigo	75,75 ± 3,46	84,95 ± 0,49	367 ± 54	12,27 ± 0,00
Arroz	67,35 ± 0,21	85,35 ± 0,35	717 ± 100	12,30 ± 0,00

BU = unidades Brabender, unidades arbitrarias del equipo utilizado.

Ti es temperatura inicio de la gelatinización

TPG es temperatura a la que se alcanza la máxima gelatinización

ΔH es gelatinización máxima

tmaxG es el tiempo en el que se alcanza la máxima gelatinización

En la tabla 4 se muestran los parámetros de temperatura de inicio de gelatinización, temperatura pico de gelatinización, gelatinización máxima y tiempo en el que se alcanza la máxima gelatinización, de cada almidón

Los resultados de gelatinización son característicos de cada almidón y varían de acuerdo a su estructura.

Con los valores de temperatura pico de gelatinización (TPG) y tiempo en el que se alcanza la máxima gelatinización (tmaxG) se calcula la velocidad de gelatinización; cuyos resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores calculados de velocidad de gelatinización

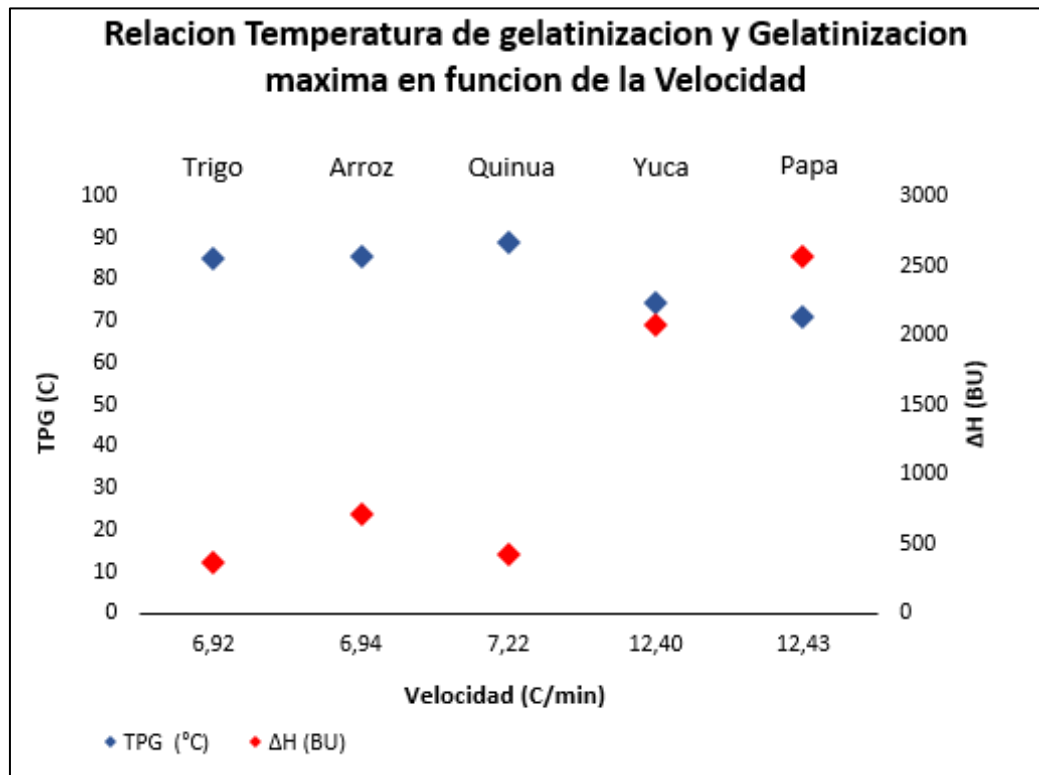
Almidón	TPG (°C)	tmaxG (min)	V (°C/min)	ΔH (BU)
Papa	71,1	5,72	12,43	2565
Quinoa	88,8	12,30	7,22	424
Yuca	74,4	6,00	12,40	2078
Trigo	84,95	12,27	6,92	367
Arroz	85,35	12,3	6,94	717

BU= unidades Brabender, unidades arbitrarias del equipo utilizado.

En la tabla 5 se muestran los valores calculados de velocidad de gelatinización y la gelatinización máxima de cada almidón

Con los datos mostrados en la Tabla 5 se obtuvo la siguiente gráfica de doble entrada, que expresa la relación de temperatura requerida para la gelatinización máxima alcanzada, en función de la velocidad:

Gráfica 1. Relación de temperatura de gelatinización y gelatinización máxima en función de la velocidad



En la gráfica 1 se observa la relación de temperatura de gelatinización y gelatinización máxima en función de la velocidad, que muestra una similitud en el comportamiento entre almidón de yuca y papa.

Se observa que el almidón que llega a mayor gelatinización (2565 BU) es el de papa. Este almidón es el que necesita menor temperatura (71,1 °C) para llegar a la gelatinización máxima y lo hace en menor tiempo, lo que significa mayor velocidad.

El almidón de yuca tiene un comportamiento cercano al de papa, llegando a un valor de gelatinización máxima de 2078 BU; que significa el 81,01% del valor alcanzado en el almidón de papa. Además, requiere una temperatura de solo 3,3 °C por encima de la requerida por el almidón de papa.

El almidón de trigo es el que llega a menor gelatinización (367 BU) alcanzando a solo el 14,3% del valor de gelatinización del almidón de papa. Requiere menor velocidad, por lo tanto más tiempo para alcanzar su valor de gelatinización máxima.

El almidón que necesita mayor temperatura (88,8°C) para llegar a su máximo de gelatinización es el almidón de quinua; el cual llega a una gelatinización baja en comparación con los otros almidones analizados; ligeramente superior al del almidón de trigo.

El almidón de arroz (el cual es una muestra estándar) mantiene un comportamiento cercano al de los almidones de trigo y quinua. La gelatinización máxima (717 BU) es tan solo el 27,95 % de la alcanzada por el almidón de papa. Además de requerir velocidad y temperatura similar al de los almidones de trigo y quinua (mayor tiempo y temperatura en relación a los resultados de gelatinización de almidón de yuca y papa)

4.4 Morfología del grano de almidón

El área, perímetro y diámetro del granulo de cada almidón analizado se reportan en la tabla 6. El porcentaje de amilosa y de amilopectina se determinaron mediante medidas realizadas a las imágenes observadas en microscopio, se consideró la amilosa como la capa superficial y el porcentaje de amilopectina la parte interna de cada granulo.

Todos los datos experimentales de medidas se encuentran en el Anexo 3.

Tabla 6. Morfología de los gránulos de almidón

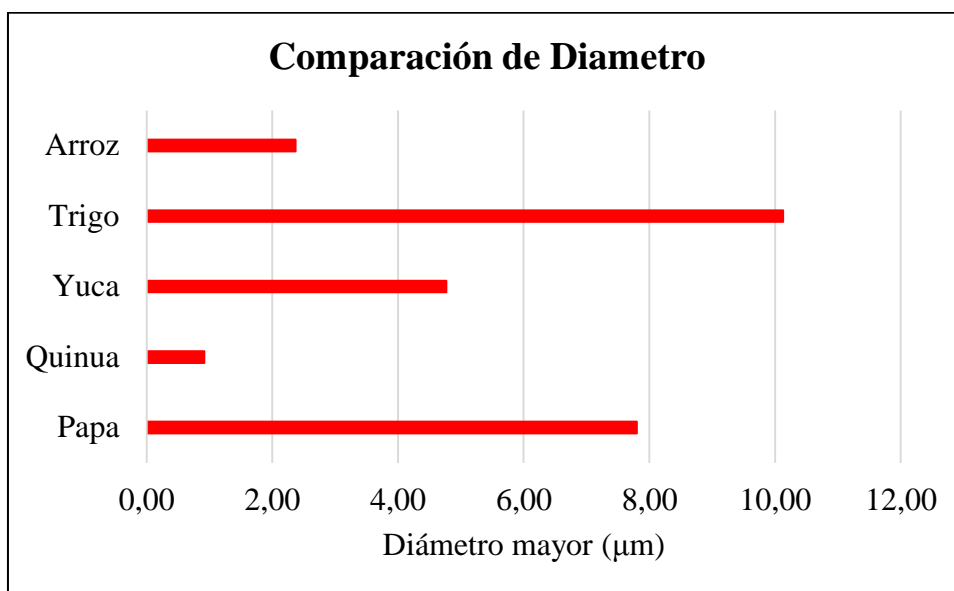
Almidón	Papa	Quinua	Yuca	Trigo	Arroz
Área (μm^2)	1374,1 \pm 283,9	56,1 \pm 3,4	697,9 \pm 2,3	1542,4 \pm 164,5	605,3 \pm 99,3
Perímetro (μm)	24,8 \pm 11,2	3,4 \pm 0,2	18,5 \pm 0,1	34,9 \pm 21,2	20,1 \pm 4,9
Diámetro (μm)	7,8 \pm 2,2	0,9 \pm 0,1	4,8 \pm 0,3	10,1 \pm 0,8	2,4 \pm 0,4
Amilosa (μm)	1,7 \pm 0,5	0,1 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	1,7 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1
Amilopectina (μm)	4,5 \pm 1,3	0,7 \pm 0,03	3,2 \pm 0,1	6,7 \pm 0,6	1,7 \pm 0,4
% amilosa	26,9 \pm 15,5	15,2 \pm 7,9	19,9 \pm 3,7	20,5 \pm 3,0	17,9 \pm 6,1
% amilopetina	73,1 \pm 42,8	84,8 \pm 12,4	80,2 \pm 5,4	79,6 \pm 13,9	82,1 \pm 34,7
Relación Amilosa-Amilopetina	1:2,72	1:5,58	1:4,04	1:3,89	1:4,58

Diámetro = diámetro mayor del granulo de almidón

En la tabla 6 se muestra los valores de área, perímetro, diámetro, amilosa y amilopectina para cada almidón analizado; así como la desviación estándar de todas las medidas realizadas.

Los diámetros de los gránulos de cada almidón son los siguientes:

Gráfica 2. Comparación de Diámetros de gránulos de almidón

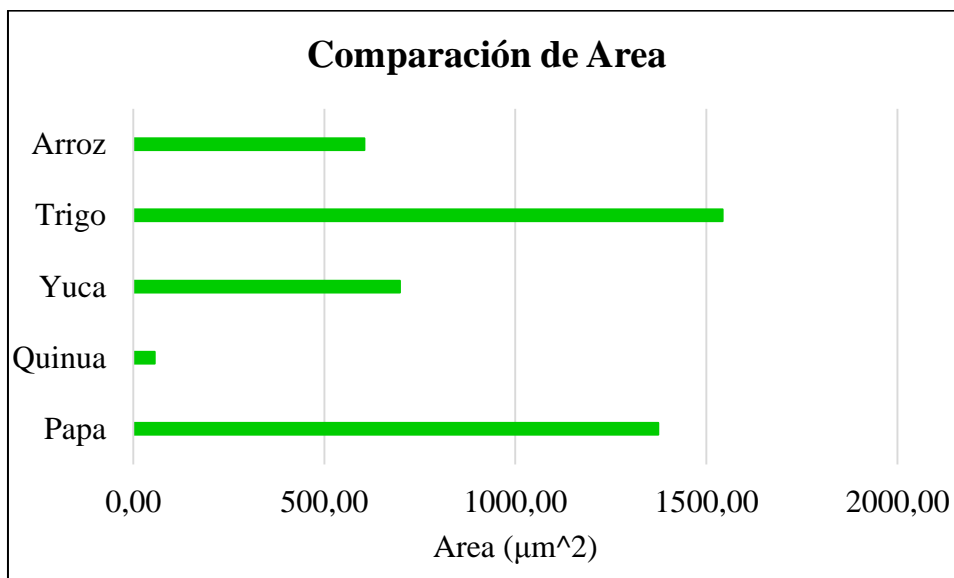


En la gráfica 2 se observa la comparación de diámetros de los gránulos de cada almidón analizado

El área medida se muestra en la Gráfica 4



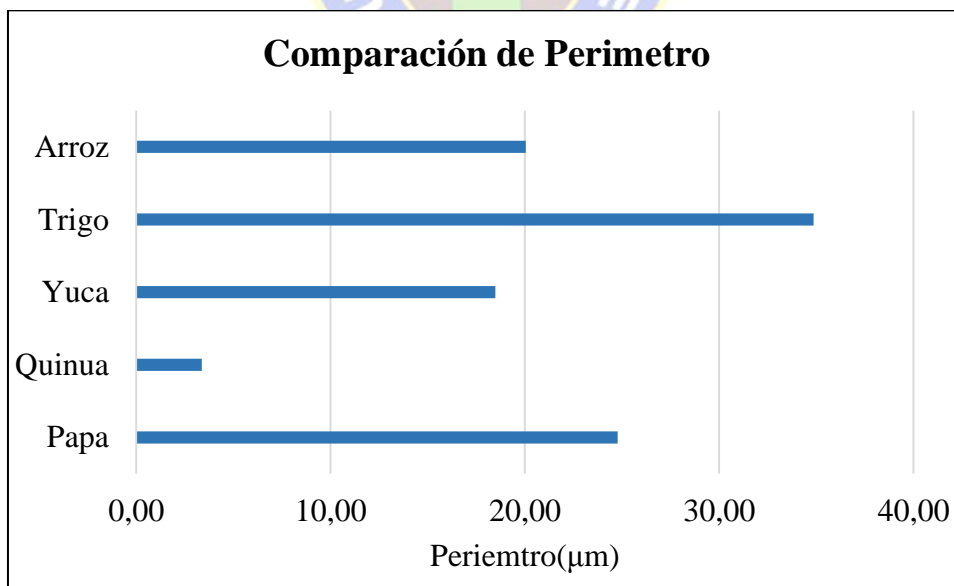
Gráfica 3. Comparación de áreas de gránulos de almidón



En la gráfica 3 se muestra la comparación de áreas de gránulos de cada almidón analizado

Los valores de perímetro se muestran en la Gráfica 4.

Gráfica 4. Comparación de perímetros de gránulos de almidón



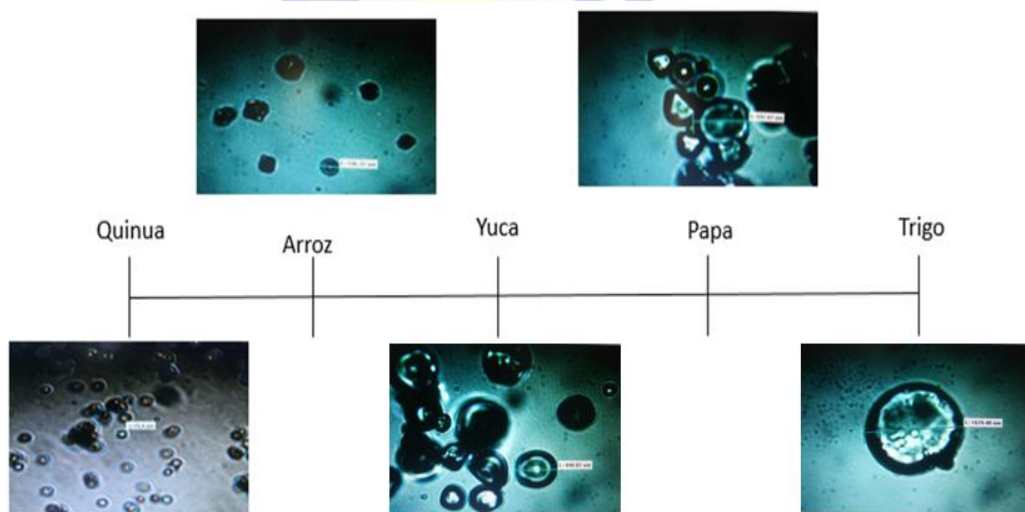
En la gráfica 4 se muestra la comparación de perímetros de gránulos de cada almidón analizado.

El granulo de almidón de mayor tamaño (área, diámetro y perímetro) es el de trigo; tiene un diámetro de 9,21 μm por encima del diámetro del almidón de menor tamaño, que corresponde a la quinua (0,92 μm).

No se mantiene la misma relación de área, perímetro y diámetro entre almidones, debido a que cada uno tiene diferente forma; como se observa en la Imagen 1.

En orden creciente, los tamaños de los gránulos de almidón tiene la siguiente posición:

Imagen 12. Imágenes de gránulos de almidón obtenidas utilizando un microscopio (lente: 100x)



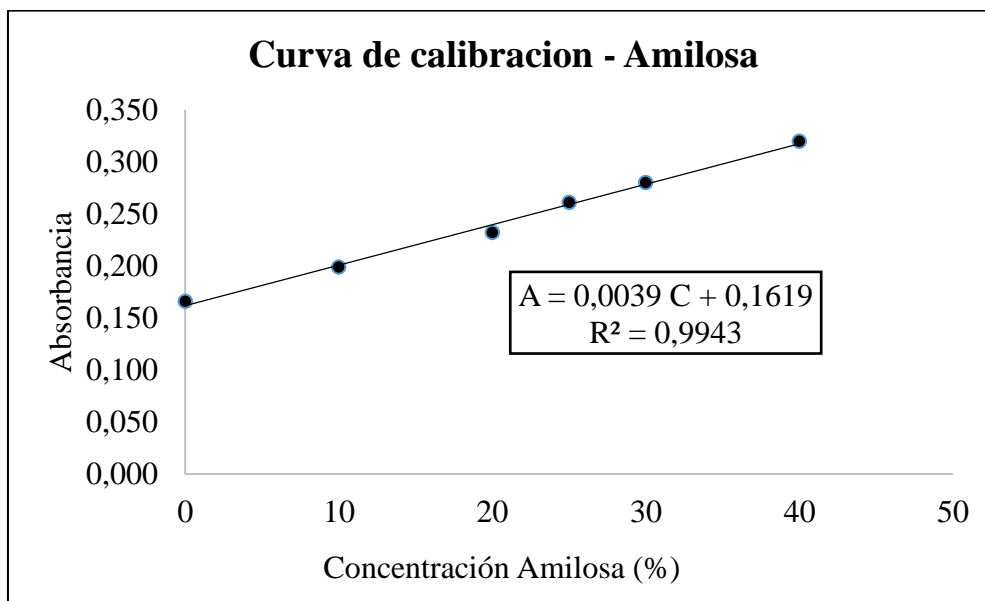
Fuente propia

En la imagen 12 se muestra el orden de tamaño, de forma creciente, de los gránulos de almidón observados en microscopio.

4.5 Cuantificación de Amilosa y Amilpectina mediante espectrofotometría UV-Vis

La curva de calibración utilizada para la cuantificación de amilosa se muestra en la Gráfica 5:

Gráfica 5. Curva de calibración para cuantificación de Amilosa



En la gráfica 5 se muestra la curva de calibración para cuantificación de Amilosa

Ecuación: $A = 0,0039 C + 0,1619$

Pendiente: $0,0039 \pm 0,0001$

Intersección con la ordenada: $0,1619 \pm 0,0036$

Los valores experimentales de absorbancia de la curva de calibración y de las muestras se encuentran en el Anexo 4.

Para la determinación del porcentaje de amilopectina se restó el porcentaje de amilosa del total.

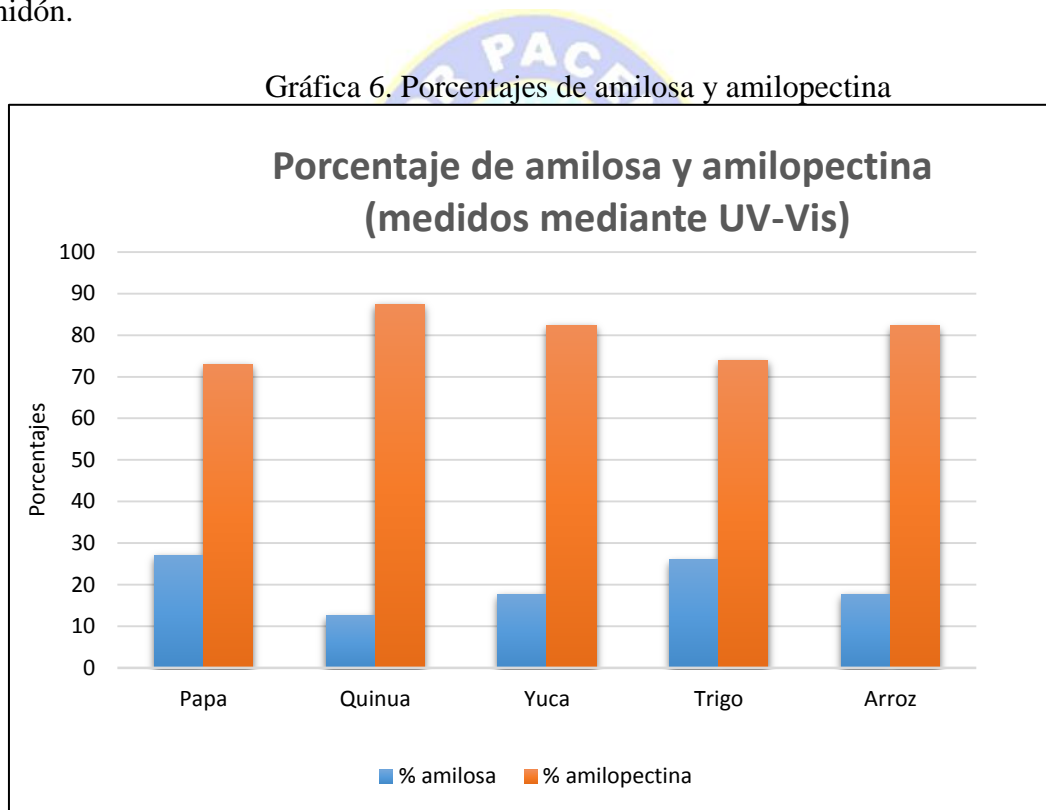
Los porcentajes de amilosa y amilopectina, así como la relación entre estos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Porcentajes y relación de amilosa y amilopectina

Almidón	Papa	Quinua	Yuca	Trigo	Arroz
% amilosa	27,0 ± 4,3	12,6 ± 3,1	17,6 ± 7,7	26,0 ± 2,9	17,7 ± 2,6
% amilopetina	73,0 ± 4,3	87,4 ± 3,1	82,4 ± 7,7	74,0 ± 2,9	82,3 ± 2,6
Relación amilosa:amilopetina	1:2,7	1:6,9	1:4,7	1:2,8	1:4,9

En la tabla 7 se observan los porcentajes de amilosa y amilopectina de cada almidón, así como la relación amilosa amilopectina. De cada valor se muestra su error calculado mediante propagación de errores.

En la siguiente grafica se comparan los porcentajes de amilosa y amilopectina de cada almidón.



En la gráfica 6 se muestra la comparación de porcentajes de amilosa y amilopectina entre los almidones analizados.

El almidón de quinua tiene el más alto porcentaje de amilopectina (87,41%) y la relación mayor entre amilosa y amilopectina presente (1:6,9), siendo practicante siete veces más la cantidad de amilopectina en relación a la amilosa.

La relación entre amilosa y amilopectina es prácticamente igual en los almidones de yuca y arroz (alrededor de 1:4,8), por lo tanto tienen porcentajes similares de amilosa y amilopectina.

El porcentaje de amilosa en el trigo (26,03%) es muy cercano al porcentaje de amilosa en la papa (27,03%); la relación amilosa y amilopectina es prácticamente igual (alrededor de 1:2)

4.6 Comparación de los resultados de porcentajes de amilosa y amilopectina obtenidos mediante dos métodos: microscopía y espectrofotometría Uv-Vis

Los resultados de porcentajes de amilosa y amilopectina obtenidos por ambos métodos se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Comparación de resultados de porcentaje de amilosa y amilopectina obtenidos por dos métodos.

Almidón	Papa	Quinua	Yuca	Trigo	Arroz
% Amilosa (UV-Vis)	73,0 ± 4,3	87,4 ± 3,1	82,4 ± 7,7	74,0 ± 2,9	82,3 ± 2,6
% Amilosa (Microscopio)	26,9 ± 15,5	15,2 ± 7,9	19,9 ± 3,7	20,5 ± 3,0	17,9 ± 6,1
% Amilopectina (UV-Vis)	73,0 ± 4,3	87,4 ± 3,1	82,4 ± 7,7	74,0 ± 2,9	82,3 ± 2,6
% Amilopectina (Microscopio)	73,1 ± 42,8	84,8 ± 12,4	80,2 ± 5,4	79,6 ± 13,9	82,1 ± 34,7

En la tabla 8 se muestran los porcentajes de amilosa y amilopectina obtenidos por espectrofotometría Uv-vis y por microscopía.

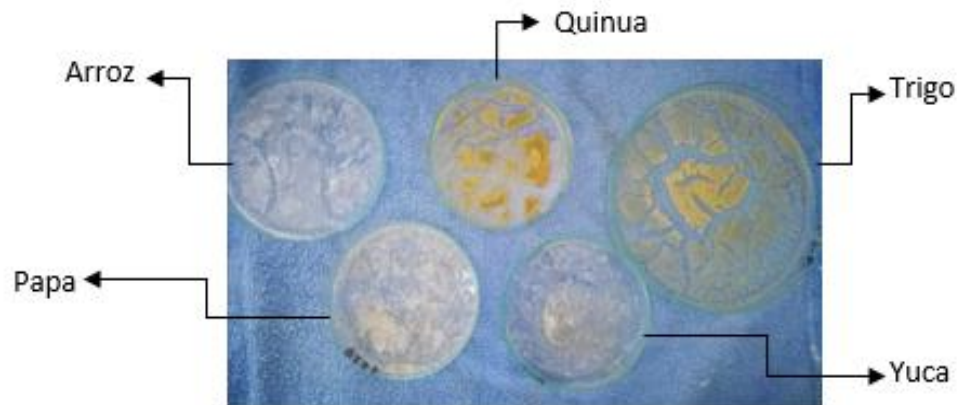
Los porcentajes de amilosa y amilopectina obtenidos en ambos métodos son muy similares. En general el porcentaje de amilosa medido en imágenes microscópicas tiene un valor algo menor que el obtenido mediante espectrofotometría Uv-Vis.

Al ser espectrofotometría UV-Vis el método con mayor exactitud se observa que mediante el método por microscopía también se pueden obtener valores similares.

4.7 Almidones retrogradados

A continuación se muestra la imagen de los cinco almidones retrogradados

Imagen 13. Almidones retrogradados



Fuente propia

La imagen 13 muestra los almidones de papa, quinua, yuca, trigo y arroz retrogradados. Los almidones de quinua y trigo presentan visiblemente un cambio de color (adquiriendo un color pardo) en relación a la muestra no retrogradada. Los almidones de arroz y papa no presentan ningún cambio visible en relación al color. En el caso del almidón de yuca el cambio de color se da en solo ciertas zonas de la muestra.

En todos los casos se observa claramente el cambio de estructura y ordenamiento molecular que se da en el proceso típico de retrogradación.

4.9 Absorción

La relación entre la cantidad de muestra utilizada y el volumen de solución que ésta es capaz de absorber se muestra en la tabla 9.

La solución utilizada (de cloruro de sodio y ácido cítrico) se debe a la posibilidad de aplicación industrial de estos resultados; en la producción de alimentos.

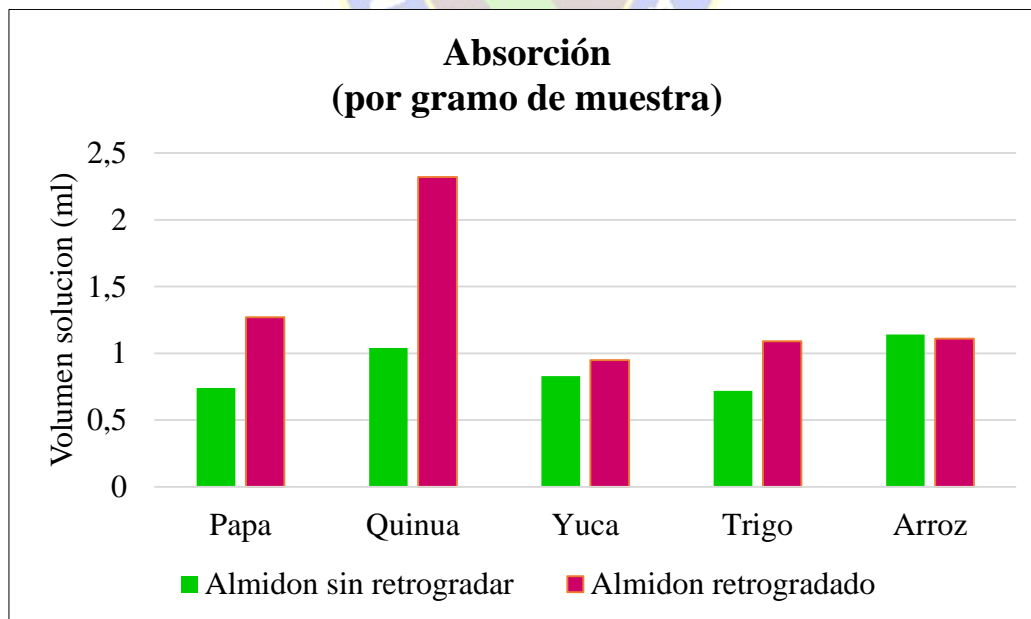
Tabla 9. Relación de absorción muestra: solución, de almidones sin retrogradación y retrogradados

Almidón	A. sin retrogradación relación Muestra:Solución (g:ml)	A. retrogradado relación Muestra:Solución (g:ml)
Papa	1:0,74	1:1,27
Quinoa	1:1,04	1:2,32
Yuca	1:0,83	1:0,95
Trigo	1:0,72	1:1,09
Arroz	1:1,14	1:1,11

En la tabla 9 se muestra el volumen máximo que es capaz de absorber cada uno de los almidones analizados, sin retrogradar y retrogradados.

A continuación se muestra una gráfica comparativa de la capacidad absorbente de todas las muestras analizadas.

Gráfica 7. Capacidad absorbente de almidones sin retrogradar y retrogradados.



En la gráfica 7 se muestra la comparación de la capacidad absorbente de los almidones analizados

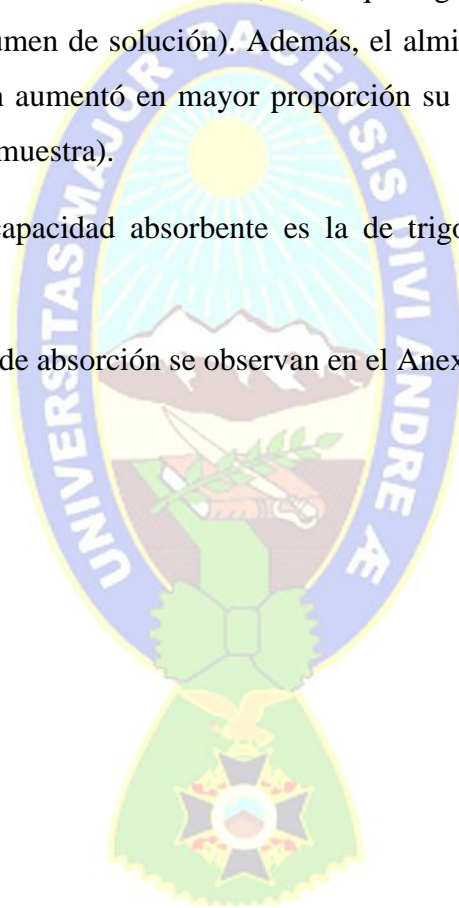
Como se observa en la gráfica 7, los almidones retrogradados de papa, quinua, yuca y trigo tienen mayor capacidad absorbente que los almidones no retrogradados.

En el caso del almidón de arroz sucede lo contrario, la muestra retrogradada absorbe ligeramente menos que la muestra sin retrogradar.

El almidón con mayor capacidad absorbente es el de quinua retrogradada, cuya relación entre muestra y solución absorbida es de 1:2,32; lo que significa que absorbe más del doble de su peso (en volumen de solución). Además, el almidón de quinua es al que el proceso de retrogradación aumentó en mayor proporción su capacidad absorbente. (De 1,04 a 2,32 por gramo de muestra).

La muestra con menor capacidad absorbente es la de trigo sin retrogradar (relación 1:0,72).

Los datos experimentales de absorción se observan en el Anexo 5.



5. CONCLUSIONES

Rendimiento

En cuanto al rendimiento de extracción, el almidón de menor rendimiento es el de quinua. La quinua es una muestra que contiene muy bajo porcentaje de agua en su estructura y tiene un alto porcentaje de proteína y lípidos; lo que puede dificultar el proceso de extracción. Sin embargo, el trigo también contiene un bajo porcentaje de agua y es la muestra con mayor rendimiento.

Como dice (Arzapalo Quinto & Human Condor, 2014) el almidón de la quinua se encuentra en la parte interna del pseudocereal (Perisperma); en cambio en el caso del trigo el almidón se encuentra en la parte externa del cereal (Endospermo) como señala (Juárez, Bárcenas Pozos, & Hernández, 2014). Por lo tanto, es probable que la causa del bajo rendimiento en la extracción del almidón de quinua se deba a esta característica, que dificulta su extracción en el caso de la quinua.

Además, los métodos usados para la extracción de cada almidón son métodos con posible aplicación industrial.

Gelatinización

Las características de gelatinización tienen como una de sus variables el valor de humedad de cada muestra. El almidón con mayor porcentaje de humedad (almidón de yuca) es uno de los que alcanza mayor gelatinización.

Los almidones con mejor gelatinización son los de papa y yuca, respectivamente. Por lo tanto, son los más aptos si se requiere un alto grado de gelatinización y menor temperatura necesaria para llegar a este valor.

Según los resultados, las muestras con menor gelatinización (trigo, quinua y arroz) necesitan mayor temperatura para alcanzar esta condición. Este resultado los convierte en muy poco eficientes cuando las necesidades de gelatinización son altas.

Según bibliografía altas temperaturas de transición se han relacionado con un alto grado de cristalinidad, indicando estabilidad estructural y resistencia de los gránulos a la gelatinización. (Vignola, 2017)

Morfología

El almidón de quinua es el de menor tamaño, pero el que contiene mayor porcentaje de amilopectina. El almidón de trigo es el de mayor tamaño y con uno de los porcentajes más bajos de amilopectina en relación a los demás.

Cuantificación amilosa-amilopectina

Los métodos de cuantificación de amilosa y amilopectina muestran resultados muy cercanos entre sí. Además, en todos los casos se obtuvieron por ambos métodos resultados dentro del rango o cercanos a los porcentajes teóricos de amilosa y amilopectina reportados en bibliografía. De acuerdo a los resultados, es posible señalar que ambos métodos son válidos para la cuantificación de amilosa y amilopectina. El método por espectrofotometría UV-Vis es el de mayor exactitud y precisión pero solo para valores de hasta 40% de amilosa, por encima de este porcentaje presenta errores por la interferencia de amilopectina en la absorción medida.

Retrogradación

La retrogradación del almidón se produce mediante un proceso previo de gelatinización, para el cual es importante conocer las características de gelatinización (temperatura a la que se alcanza la gelatinización máxima y tiempo necesario) de cada almidón. Aun así, el grado de retrogradación alcanzado varía entre una muestra y otra; permaneciendo en algunos casos gránulos de almidón sin retrogradar.

Según (Wang, Li, Copeland, Niu, & Wang, 2015) un almidón con mayor porcentaje de amilosa (como el trigo y la papa) se somete a mayor retrogradación. Pero también se indica que los gránulos de almidón más pequeños (como los de quinua y arroz) son más fáciles de retrogradar. Sin embargo otras características estructurales llegan a tener mayor influencia en el grado de retrogradación.

Capacidad absorbente

La capacidad absorbente es mayor en muestras retrogradadas, a excepción del almidón de arroz. El almidón de quinua retrogradado es el que presenta mayor capacidad absorbente.

En relación al tamaño de gránulo y el porcentaje de amilopectina, no se llegó a establecer una relación entre estos factores y la absorción. Los almidones de mayor absorción son los que tienen valores contrarios en relación a tamaño y relación amilosa: amilopectina.

En los almidones con mayor capacidad absorbente (almidones de quinua y papa retrogradados) ha sucedido lo siguiente: La retrogradación produce la ruptura de los gránulos de almidón, de esta manera genera mayor superficie de contacto y mayor contacto con la estructura de amilopectina, permitiendo mayor retención de moléculas de agua dentro de la estructura y formación de puentes de hidrogeno (absorción).

No es posible establecer una relación entre características de gelatinización y capacidad absorbente, ya que los almidones de quinua y papa tienen características poco similares en cuanto a gelatinización.

Sin embargo, los datos experimentales muestran que el almidón de quinua retrogradado es el que tiene mayores perspectivas industriales para ser usados como absorbente.

6. BIBLIOGRAFIA

- Alcón Callejas, D. (2016). Caracterización morfológica del tubérculo y criterios de calidad culinaria en variedades de papa amarga (*Solanum juzepczukii*) y (*Solanum curtilubum*) en el municipio de San Andrés de Machaca. La Paz - UMSA.
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. FAO.
- Arzapalo Quinto, D. L., & Human Condor, K. B. (2014). Extracción y caracterización de almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) Negra Collana, Pasankalla Roja y Blanca Junin. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ciencias Aplicadas. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial.
- Barleany, D. R., Ulfiyani, F., Istigomah, S., Heriyanto, H., Rahmayetty, & Erizal. (2015). Swelling properties of cassava starch grafted with poly (potassium acrylate-co-acrylamide) superabsorbent hydrogel prepared by ionizing radiation. *International Conference of Chemical and Material Engineering*.
- Burrieza, H., Martinez Tosar, L., Avella Grilla, M. S., Cobayashi, K., & Maldonado, S. (Argentina-2013). El grano de quinua y las dehidrinas. *Ciencia y tecnología de los cultivos industriales*.
- Cornejo Ramírez, I., Cruz, O. M., Del Toro Sánchez, C. L., Wong Corral, F. J., Borboa Flores, J., & Cinco Moroyoqui, F. J. (2018). The structural characteristics of starches and their functional properties. *CYTA – Journal of Food*.
- El Mohdy, H. L., Hegazy, E. S., & El Rehim, H. A. (s.f.). Characterization of Starch/Acrylic Acid Super-Absorbent Hydrogels Prepared by Ionizing Radiation. *Journal of Macromolecular Science*, 2006.
- FAO. (2006). El mercado de almidón añade valor a la yuca. Italia: Departamento de Agricultura, Bioseguridad. Nutrición y Protección del consumidor.

- Ferrández García, C. E., Ferrández García, M. T., Ferrández Villena, M., Andreu Rodríguez, J., & García Ortuño, T. (s.f.). Estudio de los usos del almidón en la construcción. *Universidad Miguel Hernández de Elche - España*.
- Flores Castro, A. (2006). Estudio de restrogradación del almidón presente en tortillas, utilizando diversas técnicas. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bioticos - Mexico.
- González Blair, G. H. (2019). *Desarrollo de productos con alto contenido de almidón para la industria de alimentos*. Fundación Universitaria Agraria de Colombia-UNIGRARIA.
- Granados C, C., Guzman C, L. E., Acevedo C, D., Díaz M, M., & Herrera A, A. A. (2014). Propiedades Funcionales del almidón de Sagu (Maranta arundinacea). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial - Colombia*.
- Hernández Medina, M., Torruco Uco, J. G., Chel Guerrero, L., & Betancur Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*.
- Juárez, Z. N., Bárcenas Pozos, M. E., & Hernández, L. R. (2014). El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. Universidad de las Americas Puebla - Mexico.
- Linton Charles, A., Ming Kao, K., & Chi Huang, T. (2003). Physical investigations of surface membrane - water relationship of intact and gelatinized wheat - starch systems. *El Sevier*.
- Martínez, P., Málaga, A., Betalleluz, I., Ibarz, A., & C, V. (2015). Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (Solanum phureja) nativas peruanas. *Scientia Agropecuaria. Universidad Nacional de Trujillo - Perú*.
- Pineda Gómez, P., Coral, D. F., Arciniegas, M. L., Rorales Rivera, A., & Rodríguez García, M. E. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería y Ciencia. Universidad EAFIT*.

- Qiao, D.-l., Yang Baoa, X., Sheng Liua, H., Xun Liua, X., Chena, L., Yua, L., & Zhangb, X.-q. C. (2014). Preparation of Cassava Starch-based Superabsorbent Polymer Using a Twin-roll Mixer as Reactor. *Chinese Journal of Polymer Science*.
- Ruiz Esparza, S., & Martínez Arronte, J. (s.f.). *Clasificación de Carbohidratos*. Mexico.
- Songa, S. S., Qi, H. B., & Wu, Y. P. (2011). Preparation and properties of water-absorbent composites of chloroprene rubber, starch, and sodium acrylate. *Polymers Advanced Technologies*.
- Teli, M. D., & Mallick, A. (2017). Utilization of Waste Sorghum Grain for Producing Superabsorbent for Personal Care Products. *J Polym Environ*.
- Vasiljević, L., & Pavlović, P. (2017). *Advances in Applications of Industrial Biomaterials. Biodegradable Polymers Based on Proteins and Carbohydrates*.
- Vignola, M. B. (2017). Influencia del genotipo y el ambiente sobre la variabilidad de la calidad tecnológica y nutricional de cultivos de trigo, Cambios en la calidad nutricional debido a precesamiento. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias - Argentina.
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Rev Chil Nutr* .
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015). Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*.
- Zaczuk, P., & da Maia de Castro, E. (2004). Arroz como alimento. *Informe agropecuario, Belo Horizonte* .
- Zelic, R. K. (s.f.). *Modelo matemático para la predicción de fuerzas de compresión en las mezclas de cemento y polvo de sílice*.

Zhang, B., Cui, D., Gong, H., Hunag, Y., & Han, F. (2011). Corn porous starch: Preparation, characterization and adsorption property. *Internacional journal of biological macromolecules*.

Zhang, Z., Peorong, C., Du, X., Xue, Z., Chena, S., & Baojun, Y. (2013). Effects of amylose content on property and microstructure of starch-graft-sodium acrylate copolymers. *El Sevier*.

Zhi Zhanga, K., Chena, P., Dub, X., Xuea, Z., Chena, S., & Yang, B. (2013). Effects of amylose content on property and microstructure of starch-graft-sodium acrylate copolymers. *El Sevier*.

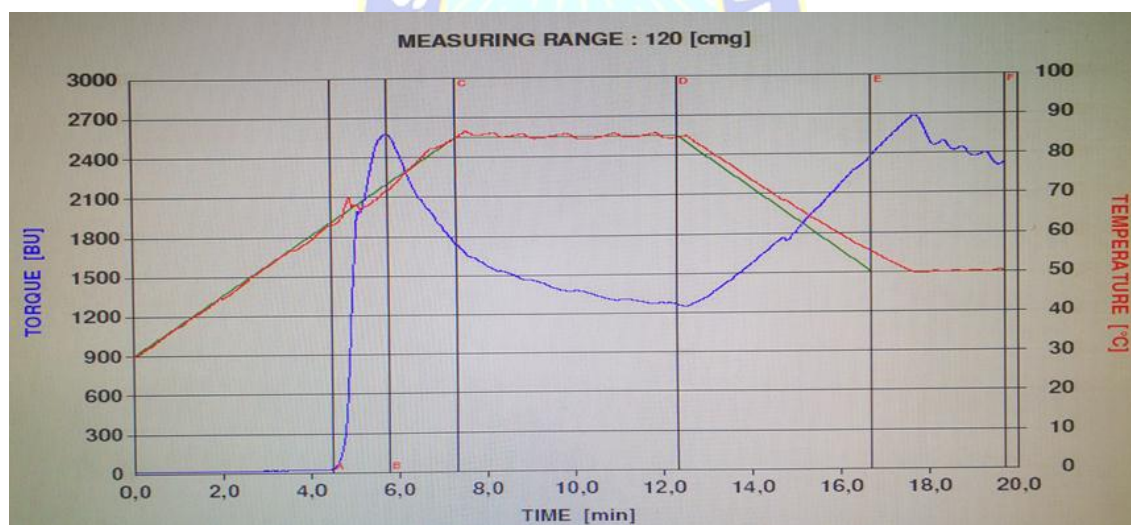


ANEXO 1: Datos experimentales de humedad de cada almidón

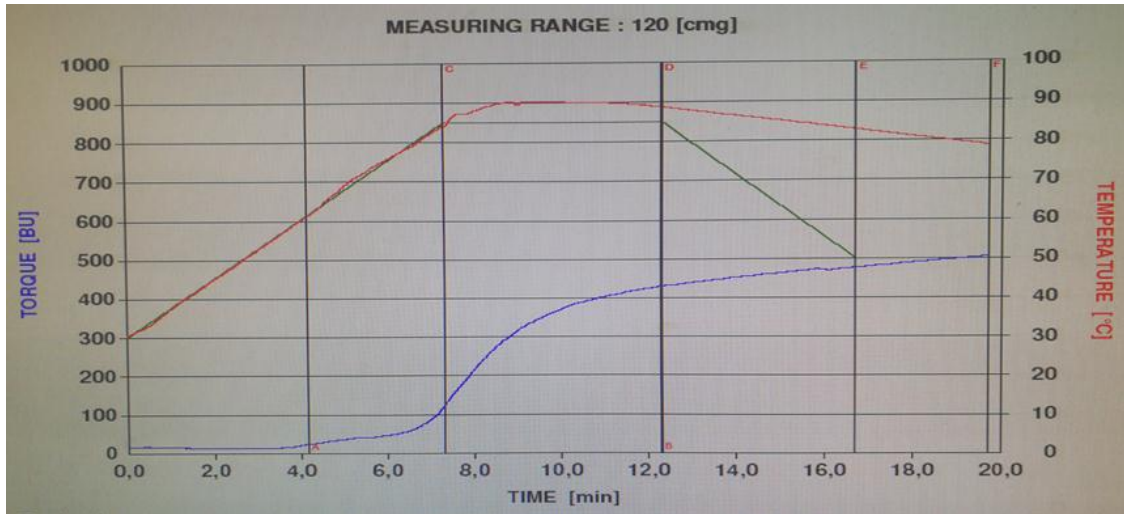
	Papa	Quinoa	Yuca	Trigo	Arroz
	14,500	11,921	23,153	16,505	11,000
	14,000	11,448	25,854	19,512	11,558
	16,000	13,333	28,111	18,137	11,558
	16,000	11,921	26,471	19,417	12,438
	12,500				
	14,428				
	13,433				
Promedio	14,409	12,156	25,897	18,393	11,639
Desviación Estándar	1,280	0,816	2,063	1,406	0,594

ANEXO 2: Termogramas de Gelatinización

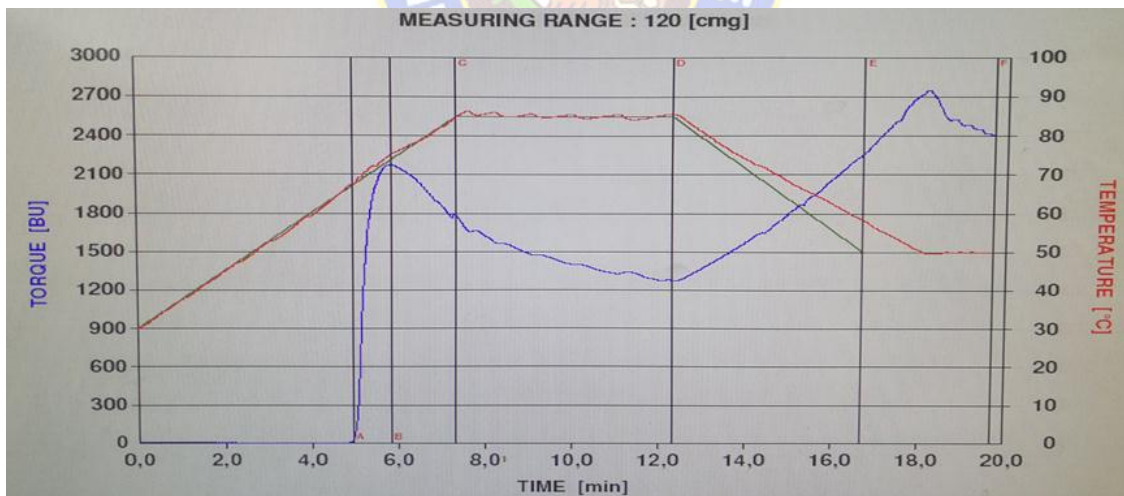
Almidón de Papa



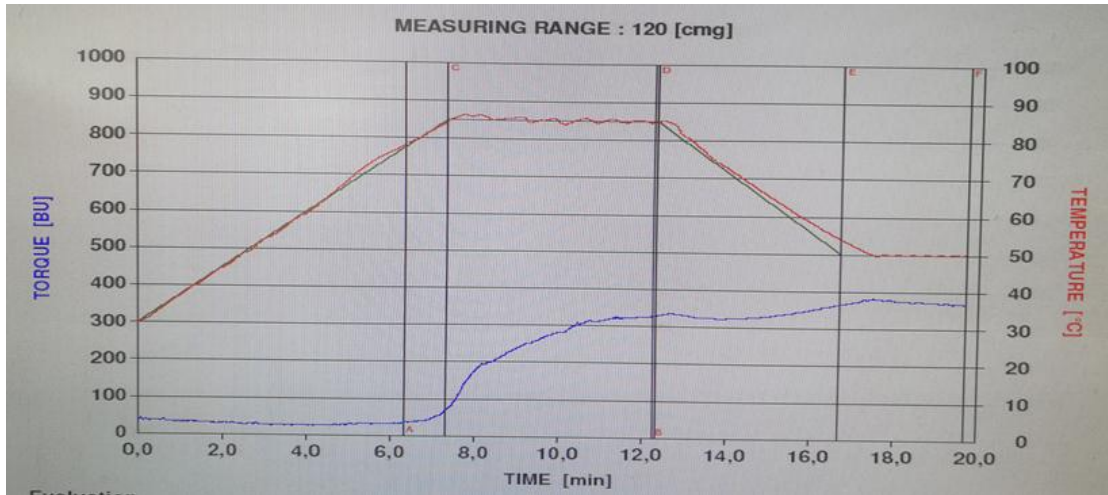
Almidón de quinua



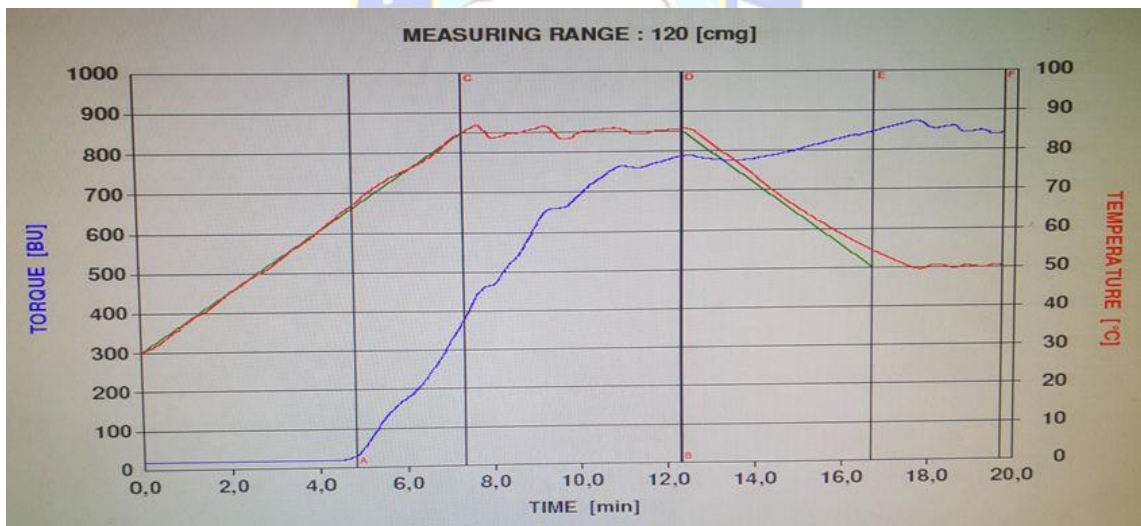
Almidón de Yuca



Almidón de trigo



Almidón de Arroz



ANEXO 3: Datos experimentales de área, perímetro, diámetro, amilosa y amilopectina; obtenidos mediante microscopia

Almidón de Papa					
Área	Perímetro	Diámetro	Amilosa	Amilopectina	
1702,00	34,05	10,22	2,20	5,82	
1210,20	12,38	7,19	1,36	4,47	
1210,20	27,90	5,98	1,40	3,18	
Promedio	1374,1	24,8	7,8	1,7	4,5
Desviación Estándar	283,9	11,2	2,2	0,5	1,3

Almidón de Quinua					
Área	Perímetro	Diámetro	Amilosa	Amilopectina	
52,24	3,57	1,06	0,18	0,70	
58,00	3,29	0,82	0,09	0,64	
58,10	3,29	0,87	0,10	0,67	
Promedio	56,1	3,4	0,9	0,1	0,7
Desviación Estándar	3,4	0,2	0,1	0,1	0,03

Almidón de Yuca					
Área	Perímetro	Diámetro	Amilosa	Amilopectina	
696,80	18,42	4,76	0,78	3,21	
696,40	18,50	5,07	0,91	3,26	
700,60	18,50	4,48	0,68	3,12	
Promedio	697,9	18,5	4,8	0,8	3,2
Desviación Estándar	2,3	0,1	0,3	0,1	0,2

Almidón de Trigo					
Área	Perímetro	Diámetro	Amilosa	Amilopectina	
1352,40	59,34	10,76	1,80	7,16	
1637,00	22,62	9,19	1,59	6,01	
1637,65	22,62	10,45	1,77	6,91	
Promedio	1542,4	34,9	10,1	1,7	6,7
Desviación estándar	164,5	21,2	0,8	0,1	0,6

Almidón de Arroz				
Área	Perímetro	Diámetro	Amilosa	Amilopectina
706,20	24,80	2,76	0,35	2,05
507,60	15,05	2,38	0,41	1,55
602,00	20,34	1,97	0,31	1,35
Promedio	605,3	20,1	2,4	0,4
Desviación estándar	99,3	4,9	0,4	0,1

ANEXO 4: Datos experimentales para la cuantificación de amilosa y amilopectina

Curva de calibración para cuantificación de amilosa mediante espectrofotometría UV-Vis (a 620 nm)

Concentración Amilosa (%)	Absorbancia			Absorbancia Promedio
	0	0,165	0,164	
10	0,189	0,205	0,203	0,199
20	0,234	0,221	0,241	0,232
25	0,254	0,272	0,257	0,261
30	0,28	0,275	0,285	0,280
40	0,301	0,331	0,327	0,320

Resultados experimentales de absorbancia para cada muestra

Absorbancia					
	Papa	Quinua	Yuca	Trigo	Arroz
	0,259	0,221	0,219	0,266	0,238
	0,279	0,208	0,235	0,267	0,234
	0,264	0,214	0,238	0,268	0,228
		0,202	0,197	0,257	0,226
		0,210	0,264	0,259	0,229
Promedio	0,267	0,211	0,2306	0,2634	0,231

ANEXO 4: Resultados experimentales de la curva de calibración de cuantificación de amilosa por uv-vis y resultados experimentales de absorbancia de cada almidón

Concentración Amilosa (%)	Absorbancia			Absorbancia Promedio
0	0,165	0,164	0,169	0,166
10	0,189	0,205	0,203	0,199
20	0,234	0,221	0,241	0,232
25	0,254	0,272	0,257	0,261
30	0,28	0,275	0,285	0,280
40	0,301	0,331	0,327	0,320

	Absorbancia				
	Papa	Quinoa	Yuca	Trigo	Arroz
	0,259	0,221	0,219	0,266	0,238
	0,279	0,208	0,235	0,267	0,234
	0,264	0,214	0,238	0,268	0,228
		0,202	0,197	0,257	0,226
		0,210	0,264	0,259	0,229
Promedio	0,267	0,211	0,2306	0,2634	0,231
Desviación Estándar	0,010	0,007	0,025	0,005	0,005
% Amilosa	27,03	12,59	17,62	26,03	17,72
Error % amilosa	4,29	3,06	7,72	2,88	2,63

ANEXO 5: Resultados experimentales de absorción

Almidón no retrogradado

Almidón	Masa muestra (g)	Volumen solución (µl)	Volumen solución (ml)
Papa	1,0078	750	0,75
Quinoa	1,0071	1050	1,05
Yuca	1,0227	850	0,85
Trigo	1,0037	725	0,725
Arroz	1,0994	1250	1,25

Almidón retrogrado

Almidón	Masa muestra (g)	Volumen solución (μl)	Volumen solución (ml)
Papa	1,0274	1300	1,3
Quinoa	1,0110	2350	2,35
Yuca	1,0047	950	0,95
Trigo	1,0094	1100	1,1
Arroz	1,0860	1200	1,2

