

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
CHOTA**

(Creada por Ley Nro. 29531)



**Comportamiento Reológico y Viscoelástico de Almidones Nativos
Extraídos de Tres Variedades de Quinoa (*Chenopodium Quinoa*)**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

RAFAEL DELGADO DANIEL ALCIDES

ASESOR

Ph. D. FRANK FLUKER VELÁSQUEZ BARRETO

COASESOR

Mg. AUGUSTO ANTONIO MECHATO ANASTASIO

2022

AGRADECIMIENTO

A mi asesor el Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto y coasesor Mg. Augusto Antonio Mechato Anastasio por su tiempo, apoyo y comprensión que me han brindado antes, durante y después de ejecutar la presente tesis de pregrado.

A los integrantes del jurado calificador por dedicar su tiempo e ideas para mejorar el informe de tesis.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA), Facultad de Ciencias Agrarias, UNACH por sus conocimientos impartidos en sus aulas y por permitirme el ingreso a sus laboratorios.

DEDICATORIA

A mis familiares, en especial mis padres José y María, por su incondicional apoyo en cada instante de mi vida.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	2
DEDICATORIA.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I.....	12
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO II.....	14
MARCO TEÓRICO	14
2.1. Antecedentes.....	14
2.2. Bases teóricas	17
2.3. Definición de conceptos	40
CAPÍTULO III	43
MARCO METODOLÓGICO	43
3.1. Ubicación.....	43
3.2. Población y muestra	43
3.2.1. Población	43
3.2.2. Muestra	43
3.3. Equipos, materiales e insumos	43
3.4. Metodología de la investigación.....	45
3.5. Diseño experimental y análisis estadístico	50

CAPÍTULO IV	52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1. Rendimiento y propiedades químico proximal de almidones de tres variables de quinua	52
4.2. Influencia del tiempo sobre el comportamiento reológico.	54
4.3. Propiedades de corte en estado estacionario.....	58
4.4. Propiedades viscoelásticas.....	60
CAPÍTULO V	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
5.1. Conclusiones.....	63
5.2. Recomendaciones.	65
CAPÍTULO VI.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	66
CAPÍTULO VII.....	71
ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Taxonomía de la quinua</i> ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 2 <i>Características fisicoquímicas de los almidones de quinua</i>	28
Tabla 3 <i>Modelos reológicos dependientes e independientes del tiempo</i>	49
Tabla 4 <i>Rendimiento y propiedades químico proximal de almidones de tres variedades de quinua</i>	53
Tabla 5 <i>Datos de los modelos aplicados a pastas de almidón de tres variedades de quinua</i>	57
Tabla 6 <i>Propiedades viscoelásticas de pastas de almidones de tres variedades de quinua medidos a 1 Hz y 4 % de almidón</i>	60
Tabla 7 <i>Soluciones estándar de amilosa y amilopectina, para determinar la concentración de amilosa y amilopectina</i>	74
Tabla 8 <i>Datos del comportamiento de flujo de los geles de almidones nativos de quinua blanca</i>	75
Tabla 9 <i>Datos del comportamiento de flujo de los geles de almidones nativos de quinua negra</i>	76
Tabla 10 <i>Datos del comportamiento de flujo de los geles de almidones nativos de quinua roja</i>	77
Tabla 11 <i>Datos del comportamiento viscoelástico de los geles de almidones nativos de quinua blanca</i>	78
Tabla 12 <i>Datos del comportamiento viscoelástico de los geles de almidones nativos de quinua negra</i>	79
Tabla 13 <i>Datos del comportamiento viscoelástico de los geles de almidones nativos de quinua roja</i>	80

Tabla 14 <i>Datos de la dependencia de tiempo de los geles de almidones nativos de quinua blanca</i>	81
Tabla 15 <i>Datos de la dependencia de tiempo de los geles de almidones nativos de quinua negra</i>	82
Tabla 16 <i>Datos de la dependencia de tiempo de los geles de almidones nativos de quinua roja</i>	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Planta de quinua</i>	18
Figura 2 <i>Variedades de quinua de los andes del Perú</i>	23
Figura 3 <i>Variedades de quinua más comerciales del Perú</i>	26
Figura 4 <i>Estructura de la amilosa</i>	27
Figura 5 <i>Estructura de la Amilopectina principal componente del almidón</i>	28
Figura 6 <i>Gelatinización del almidón</i>	30
Figura 7 <i>Modelos de deformación</i>	33
Figura 8 <i>Deformación plástica</i>	34
Figura 9 <i>Curva de fluidez para representar la viscosidad dinámica y aparente</i>	36
Figura 10 <i>Representación de un flujo Newtoniano</i>	39
Figura 11 <i>Características de un fluido tixotrópico</i>	40
Figura 12 <i>Flujo de extracción de almidón</i>	47
Figura 13 <i>Influencia del tiempo en el comportamiento reológico de pastas de almidones de tres variedades de quinua a 300 s^{-1} y 4% de almidón</i>	56
Figura 14 <i>Modelo del mejor ajuste (Hahn)</i>	58
Figura 15 <i>Propiedades de corte en estado estacionario para almidones de tres variedades de quinua</i>	59
Figura 16 <i>Barrido de frecuencia en pastas de almidones de tres variedades de quinua 1 Pa y 4% de almidón</i>	62
Figura 17 <i>Viscosidad compleja en pastas de almidones de tres variedades de quinua 1 Pa y 4% de almidón</i>	62
Figura 18 <i>Remojo de los granos de quinua</i>	71
Figura 19 <i>Reducción de tamaño de los granos de quinua</i>	71
Figura 20 <i>Centrifugación de los almidones de quinua</i>	72

Figura 21 <i>Secado del almidón de quinua</i>	72
Figura 22 <i>Almidones nativos de quinua</i>	73
Figura 23 <i>Curva de calibración de amilosa y amilopectina</i>	74

RESUMEN

La investigación evaluó el comportamiento reológico y viscoelástico de almidones nativos extraídos de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Para este trabajo, se utilizaron granos de quinua blanca, negra y roja recién cosechados. El almidón de los granos de quinua fue extraído por remojo alcalino, reducción de tamaño, tamizado, centrifugación y secado en estufa. El comportamiento reológico y viscoelástico de los geles de almidones se realizaron mediante pruebas en estado estacionario y pruebas oscilatorias. Suspensiones de almidones a 4% fueron calentados a 90 °C por 30 min y enfriados 25 °C a fin de obtener las pastas de almidón, los cuales fueron ubicados directamente en un reómetro marca TA Instruments para medir las características reológicas y viscoelásticas. El almidón tuvo un rendimiento de 20,83% a 34,80%, el contenido de humedad de 11,46% a 12,92%, el contenido de cenizas de 0,20 % a 0,29%, el contenido de amilosa de 17,20% a 23,90% y el contenido de amilopectina de 76,10% a 82,81%. Las pastas de almidones de quinua mostraron una conducta tixotrópica (reducción del esfuerzo cortante durante cizalladura constante) y pseudoplástico ($n < 1$), así mismo, los geles de almidones de quinua mostraron comportamiento elástico ($G' > G''$). Los almidones de quinua roja revelaron una viscosidad compleja (η^*) más elevada. Respecto al comportamiento tixotrópico, el modelo de Hahn fue el modelo que mejor se ajustó el comportamiento de los geles de almidones de las tres variedades de quinua ya que presentó mayor coeficiente de determinación ($>0,73$) y menor valor de cuadrado medio del error ($<0,0003$). El comportamiento reológico y viscoelástico de los geles de almidones de quinua fue afectado por el contenido de amilosa

Palabras clave: Contenido de amilosa, granos de quinua, rendimiento de almidón, modelos reológicos.

ABSTRACT

The research evaluated the rheological and viscoelastic behavior of native starches extracted from three varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). For this work, freshly harvested white, black and red quinoa grains were used. Starch from quinoa grains was extracted by alkaline soaking, size reduction, sieving, centrifugation, and oven drying. The rheological and viscoelastic behavior of the starch gels were determined by steady state tests and oscillatory tests. Starch suspensions at 4% were heated at 90 °C for 30 min and cooled to 25 °C in order to obtain starch pastes, which were placed directly in a TA Instruments brand rheometer to measure the rheological and viscoelastic characteristics. The starch had a yield of 20.83% to 34.80%, the moisture content of 11.46% to 12.92%, the ash content of 0.20% to 0.29%, the amylose content from 17.20% to 23.90% and the amylopectin content from 76.10% to 82.81%. Quinoa starch pastes showed thixotropic behavior (reduction of shear stress during constant shear) and pseudoplastic ($n < 1$), likewise, quinoa starch gels showed elastic behavior ($G' > G''$). Red quinoa starches revealed a higher complex viscosity (η^*). Regarding the thixotropic behavior, the Hahn model was the model that best adjusted the behavior of the starch gels of the three quinoa varieties, since it presented the highest coefficient of determination (>0.73) and the lowest mean square error value. (<0.0003). The rheological and viscoelastic behavior of the quinoa starch gels was affected by the amylose content.

Keywords: Amylose content, quinoa grains, starch yield, rheological models.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el Perú las comunidades andinas se dedican a la producción de leguminosas, cereales y granos andinos, dentro de ellos, destaca la producción de quinua que es utilizada por su elevado contenido en proteínas y carbohidratos, especialmente en sus variedades roja, negra y blanca. Actualmente, se vienen realizando investigaciones con el fin de caracterizar el contenido protéico de la quinua por la presencia de ácidos aminados esenciales. No obstante, durante su extracción se generan algunos subproductos, entre ellos el almidón, el cual puede ser utilizado en la industrialización de alimentos.

El almidón que se usa en la industria tiene que cumplir determinadas condiciones tales como, resistencia a excesivos esfuerzos de corte, firmeza a elevadas temperaturas, resistencia a la desintegración térmica, entre otros. Sin embargo, muchos de los almidones se usan en su estado natural, ya que no contienen determinadas características. Por ello es necesario analizar el comportamiento reológico y viscoelástico de almidones nativos para que permitan determinar el posible uso y aplicación de los mismos.

El almidón tiene diversos usos por lo que, el incrementar las funcionalidades del uso de quinua en el Perú y encontrar una posible aplicación agroindustrial al almidón extraído, que beneficie a las poblaciones andinas dedicadas a su cultivo, es de vital importancia. En ese aspecto, el presente estudio busca dar a conocer ciertas propiedades reológicas y viscoelásticas en geles de almidones nativos extraídos de tres variedades de quinua (roja, negra y blanca) y definir su posible aplicación en el sector agroindustrial. Por ello, se planteó como problema general: ¿Cuál será el comportamiento reológico y viscoelástico de almidones nativos extraídos de las variedades de quinua roja, blanca y negra?

Los objetivos de la investigación fueron: objetivo general, evaluar el comportamiento reológico y viscoelástico de almidones nativos extraídos de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa willd*). Los objetivos específicos planteados fueron: determinar el rendimiento de almidones nativos de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa willd*), determinar las propiedades químico proximal de almidones nativos de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa willd*), determinar las propiedades de flujo, viscoelasticidad y dependencia del tiempo de almidones nativos de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) y modelar las propiedades de flujo, viscoelasticidad y dependencia del tiempo de almidones nativos de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa willd*).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Mira y Sucoshañay (2016) determinaron la viscosidad y temperatura de gelatinización en harina de quinua, para lo cual usaron muestras de harina en dos presentaciones cruda y tostada, encontrando que la temperatura de gelatinización de harina de haba cruda fue de 65,5 °C, la cual fue menor a la harina de haba tostada y harina cruda presentó una mayor viscosidad (193,73 cP), estas diferencias fueron debido a que durante el proceso de tostado el almidón nativo fue gelatinizado, lo cual alteró la temperatura de gelatinización y redujo la viscosidad del almidón gelatinizado, ya que normalmente almidones nativos muestran mayores viscosidades que los almidones gelatinizados o parcialmente gelatinizados.

Jan *et al.* (2016) analizaron las propiedades reológicas y fisicoquímicas de almidón de tres tipos de quinua. El contenido de amilosa fue de 16,75 g/100 g y en cuanto a propiedades reológicas el valor del módulo de almacenamiento (G') fue de 41,50 Pa, y el módulo de pérdida (G'') fue de valor de 7,59 Pa con una $\tan \delta$ de 0,182, lo que permitió determinar que en los almidones de quinua prevalece el comportamiento elástico en el viscoso ($G' > G''$), estando relacionado a la composición de la amilosa.

Corzo (2018) evaluó las características tecno-funcionales del almidón de quinua del tipo aurora, para la obtención del almidón empleó el método *water steeping*; para determinar la humedad del almidón se siguió lo descrito en la Norma Técnica Colombiana 529, para el tiempo de gelatinización se usó el método citado por Aristisabal y Sánchez (2007) y para la viscosidad aparente el método descrito por Bello *et al.* (2002). Como resultado se alcanzó un 21% en rendimiento de

almidón; la humedad de almidón fue de 12,45%, la temperatura de gelatinización fue de 73,33 °C y la viscosidad aparente de 239 cP. El autor recomienda que, debido a su baja viscosidad, este almidón puede ser utilizado como espesante de bebidas.

Bernal *et al.* (2015) caracterizaron el almidón nativo de quinua presente en semillas de variedades que se cultivan en Colombia y adquiridas bajo características *ex situ*; para extraer el almidón se empleó el método II01UB. El rendimiento de extracción de almidón fue de 23,09%, contenido de humedad de 12,01%, contenido de grasa de 1,92% y contenido de cenizas de 0,41%. Concluyéndose que las condiciones que se asocian a las áreas de cultivo, a su práctica, a la variedad de semilla, procesos de post cosecha, almacenamiento, entre otros son factores que están inmersos en la calidad del producto.

Jan *et al.* (2017) estandarizaron el proceso para el aislamiento del almidón de quinua y su caracterización; la extracción de almidón se realizó por remojo en agua y remojo alcalino en NaOH (0,20–0,30%). La productividad de almidón en promedio fue de 28,15% con remojo en agua, de 37,78% en remojo alcalino a 0,20% y de 40,89% en remojo alcalino a 0,30%. Los valores de características físicoquímicas en promedio fueron: contenido de amilosa de 12,10%, contenido de amilopectina de 87,90%, contenido de humedad de 8,49%, contenido de grasa 0,40% y el contenido de cenizas de 0,22%. En conclusión el remojo alcalino a 0,30% mostró un rendimiento mayor de extracción de almidón y afectó las características físicoquímicas del almidón nativo.

Choquehuayta (2017) determinaron las propiedades físicoquímicas y viscosidad de mazamorra elaboradas desde el almidón de quinua. La productividad de almidón fue de 22,8%, la composición de amilosa fue de 10,12% y la composición de amilopectina de 89,88%. La viscosidad de la mazamorra fue de 82 824,57 cP.

Se concluyó que el almidón de quinua puede ser utilizado como espesante en la elaboración de mazamoras, alimentos y purés ya que, estos productos necesitan estabilidad durante el calentamiento.

Oliva *et al.* (2018) caracterizaron fisicoquímicamente al grano y el almidón de quinua, de tal forma se evaluó como materia prima de productos nuevos. El resultado encontrado muestra que la cantidad de humedad fue de 6,77% para el grano de quinua y 9,52% para el almidón de quinua. La composición de cenizas fue de 3,47% para el grano de quinua y de 0,79% para el almidón de quinua. La temperatura de gelificación del almidón de quinua fue de 61,5 °C y el tamaño del gránulo fue de aproximadamente 2 μm . Concluyéndose que el almidón de quinua tiene una composición baja de humedad, bajo contenido de cenizas y pequeño tamaño de gránulos de almidón, lo cual puede ser útil para la optimización de procesos industriales.

Li y Zhu (2018) analizaron las propiedades reológicas de almidones de quinua en relación con su estructura molecular; para analizar las propiedades reológicas se utilizó un reómetro Anton Paar (Physica MCR 301, Anton Paar GmbH, Graz, Austria) y una geometría de placa y una sonda de 25 mm. Los datos se ajustaron a varios modelos matemáticos como Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk, Robertson-Stiff y Heinz Casson. Como resultado se pudo observar que la viscosidad en las pastas hechas de almidón disminuye con la subida de la velocidad de corte, la viscosidad de las pastas del almidón de quinua varía de 3,24 Pa a 39,69 Pa. Así mismo, se encontró que los cuatro modelos reológicos describen adecuadamente el actuar reológico de las pastas de almidones. Por otro lado, largas cadenas de amilopectina (estructura interna del almidón) y la composición de amilosa afectaron las características reológicas de las pastas de almidones.

Velásquez y Velezmoro (2018) hicieron una evaluación de las características fisicoquímicas, viscoelásticas y reológicas de almidones obtenidos de tubérculos de los andes. En este estudio se aplicaron los modelos de Weltman, Hahn y Figoni-Shoemaker a fin de conocer qué modelo describía mejor la reacción tixotrópica de geles formados a partir de estos tubérculos. Encontrándose que los tres modelos ajustaron bien a los datos experimentales del comportamiento tixotrópico ($R^2 > 0,92$). Así mismo, las pastas mostraron un comportamiento pseudoplástico ($n < 1$) y una reacción más elástica que viscosa ($G' > G''$). En general, las pastas de almidones de mashua presentaron una mayor viscosidad aparente y compleja, lo cual estuvo relacionado con su alto contenido de amilosa.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La quinua

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2015) define a la quinua como un grano alimentario cuyo origen se situó en los andes del Perú y de la zona geográfica de América del Sur; pertenece al grupo de los *Chenopodiaceae* por ser una planta herbácea que logra un crecimiento de 0,5 a 3,0 m. de alto, esto depende de la condición ambiental y del genotipo, el tronco es recto o ramificado de diferentes colores; el mayor aporte alimenticio se encuentra en las semillas, son gránulos diminutos con dimensiones de entre 1,8 y 2,2 mm, de colores diferentes: blanco, amarillo, café, gris, rosado, negro y rojo.

Malca (2000) señala que la quinua nace de una planta herbácea que alcanza una altura de hasta 8 m, su semilla es pequeña en forma de disco plano y, el color varía de acuerdo al genotipo que varía en las diferentes especies de naranja o de rojo a púrpura y negro, de blanco a rosa.

Figura 1

Planta de quinua.



Nota. IICA (2015)

2.2.1.1. Características

La Dirección Regional de Agricultura de Ancash (DRA Ancash, 2013) señala que el producto de la quinua viene a ser un aquenio, conformado por el perigonio y el pericarpio; el primero cubre el grano y el segundo está adherido a la semilla, el pericarpio contiene alveolos y un compuesto llamado saponina, dándole un sabor amargo a la quinua.

Fairlie (2016) señala que la quinua está en el grupo de Quenopodiáceas y su denominación científica es *Chenopodium quinoa Willd.*, es originaria de los Andes, por lo que en el altiplano y de valles andinos el suelo y clima son óptimos para cultivarlo; contiene aminoácidos y proteínas como el triftófano, metionina, fenilamina, valina y treonina, y posee hasta el doble de lisina con relación a los demás cereales y granos; asimismo, contiene vitaminas del complejo B, vitaminas E y C, riboflavina, tiamina y una alta composición en fósforo y potasio, y lisina en la quinasa de la quinua;

No se compone de gluten, por lo que es clasificado como un alimento nutritivo y medicinal (nutraceútico), cabe resaltar que no es un cereal, sino un grano de los andes y que su periodo vegetativo es de entre los 150 a 240 días. Sierra y Selva Exportadora (2012) indica que la quinua viene siendo un vegetal herbáceo, separada como si fuese un cereal, por su alto aporte de ácido amino; el grano de quinua puede tener color blanco, negro o rojo, con alto aporte proteico.

2.2.1.2. Taxonomía

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013) lo clasifica de la siguiente manera:

Tabla 1

Taxonomía de la quinua

Taxonomía de la quinua	
Reino:	<i>Vegetal.</i>
División:	<i>Fanerógamas.</i>
Clase:	<i>Dicotiledóneas.</i>
Sub clase	<i>Angiospermas.</i>
Orden	<i>Centrospermales.</i>
Familia	<i>Chenopodiaceae.</i>
Género	<i>Chenopodium.</i>
Sección	<i>Chenopodia.</i>
Subsección	<i>Cellulata.</i>
Especie	<i>Chenopodium quinoa Willd</i>

Nota. FAO, (2015)

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013) indica los nombres comunes con los que se conoce a la quinua: kiuna, quiuna, quinua, parca, trigo inca, quingua, kinoa, quinoa, triguillo, arroz del Perú, arrocillo, entre otros.

2.2.1.3.Requerimientos agroecológicos

Región: La quinua se domesticó y sembró por periodo de miles de años en áreas comprendidas desde (3500 a 4000 msnm) Suni o Altiplano; (2500 a 3500 msnm) sierra media a zona quechua o valles interandinos y hasta la sierra alta; (500 a 2500 msnm) la yunga y (0 a 500 msnm) nivel de mar o costa; donde surgieron diferentes variedades de quinuas denominados ecotipos y de los cuales se elige la variedad a sembrar; de tal forma se logre una productividad buena y de calidad de las semillas (FAO, 2016).

Temperatura: La quinua, gracias a su alto grado de variabilidad genética, es adaptable a distintos climas, partiendo de los más cálidos y secos como lo es la costa desértica, hasta donde el clima es templado lluvioso o seco de los andes y los lluviosos, fríos o secos de la sierra alta y el altiplano; la temperatura óptima de desarrollo y crecimiento, a efectos de los distintos tipos, que se ubican en el nivel de 15 a 25 °C (FAO, 2016).

Suelos: La quinua puede lograr un crecimiento en un extenso nivel de distintos terrenos, donde los más adecuados son aquellos semi profundo de drenaje bueno con una composición alta en materia orgánica; los suelos con dificultades de inundación deben

ser evitados, ya que genera dificultades para el establecimiento primario del cultivo y posteriormente causan la descomposición radicular; se puede hallar pluralidad de quinua cultivada en terrenos andinos norteños del Perú con 4,5, hasta 9,0 de pH en terrenos del altiplano del Perú - Bolivia y los salares de Bolivia (FAO, 2016).

pH: La planta se desarrolla mejor en un entorno neutro, el más adecuado es de 6,5 a 8,0 (DRA Ancash, 2013)

2.2.1.4. Variedades

La FAO (2011) menciona que el área geográfica andina es el sitio en el cual existe la mayor variedad genética de quinua tanto cultivada como silvestre, los exámenes de variabilidad genética han ayudado a la agrupación de quinuas en 3 grupos más amplios, que a continuación se señalan:

Quinuas de nivel del mar: Se encuentran en áreas de Linares y Concepción (Chile) a 36° latitud sur, son plantones de contextura gruesa, de 1,0 a 1,4 m de alto, frondosas, y la coloración de los granos son crema transparente (tipo chullpi). Tales quinuas son muy parecidas a la *Chenopodium nuttalliae* (Huanhzontle) sembrada de manera ocasional en México (FAO, 2011).

Quinuas de valles interandinos: Son las que tienen evolución en los andes que se encuentran entre los 2500 a 3500 msnm, se distinguen por su gran crecimiento – hasta 2,5 m o más alto y gran cantidad de ramificaciones e inflorescencia o panojas laxas. Ciertas variedades de la quinua muestran resistencia, en

general cuantitativamente, al mildiu (*Peronospora farinosa*); plaga de más incidencia en la quinua (FAO, 2011).

Quinuas de altiplano: Desarrollado en áreas a los 3600 a 3800 msnm, correspondiente al área geográfica del altiplano – boliviano, las plantas se desarrollan alcanzando una altura entre 0,5 a 1,5 m, con un tronco que concluye en una panoja superior generalmente compactada; en esta sección se encuentran la mayoría de los tipos tradicionales y comerciales; en lo que respecta al Perú y con base a la cercanía del lago Titicaca se establecen los siguientes sub – grupos: a) Sub grupo no pigmentado o denominado blanco, plantadas en la cercanía del Lago Titicaca, vienen siendo plantas de color verde, con semillas de color blanco de tolerancia mínima ante las heladas y buen potencial de producción; b) Sub grupo witullas, willas, wariponchos, cultivadas a lejanía intermedia del lago altitud en zona (3500 – 4000 msnm), se caracteriza por ser tolerante ante heladas y a alteraciones muy constantes de temperatura entre la noche y el día; c) Sub grupo Kcoitos, cultivadas mucho más lejos del lago y en zona puna (más de 4000 msnm), son quinuas con apariencia muy parecida a las ajaras con semillas o a la quinua silvestre (FAO, 2011).

Figura 2

Variedades de quinua de los andes del Perú



Nota. FAO (2011).

Variedades comerciales de los valles interandinos del Perú:
 Amarilla de Marangani: Planta recta, con poca ramificación, 180 m de alto, periodo de crecimiento (180 a 210 días), de coloración anaranjado, el tamaño del grano (2,5 mm), aporta gran cantidad de saponina, su producción es aproximadamente 3500 kg/ha, fuerte ante el mildiu, débil a las heladas (FAO, 2016).

Rosada de Junín: Planta que puede alcanzar una altura más o menos de 156 cm el tallo de color verde y púrpura; la panoja es de forma glomerulada, laxa, de color rosado claro, los granos tienen color blanco, tamaño aproximado 2 mm de dimensión, de textura circular, aplanada y escaso aporte de saponina, esta variedad se desarrolla de 160 a 200 días (FAO, 2016).

INIA 427 – Amarilla Sacaca: Las regiones de Apurímac y Cusco son las que mejor acogen a esta variedad, comprendiendo los valles ubicados desde los 2750 llegando a los 3650 m de altura,

el nivel de tamaño alcanza de 160 a 200 cm y su periodo de desarrollo de 160 a 180 días; las semillas poseen el color del epispermo es anaranjado – amarillento, longitud de 1,6 a 2,2 mm y aproximadamente la producción es 2,3 t/ha; mostrando una resistencia al mildiu y la enfermedad kona kona (*Eurisaca melanocampta*) (FAO, 2016).

Variedades del Altiplano: Salcedo – INIA: De semilla de color blanco, gran tamaño (1.8 a 2 mm) de diámetro, de color blanco, se desarrolla entre 5 a 6 meses, la producción 2500 kg/ha y resisistente al mildiu (FAO, 2016).

Kancolla: Grano de regular diámetro con 1,6 a 1,9 mm, de color rosado o blanco, alta composición de saponina, periodo de desarrollo de 5,5 a 6 meses, producción 3500 kg /ha, resistencia media al mildiu, se recomienda para áreas lejanas al lago Titicaca, entre ellas Juliaca, Azángaro, Cabanillas (FAO, 2016).

Chewecca: Grano de dimensión pequeña con 1,2 mm, semidulce, de color blanco, tiempo de desarrollo de 180 a 190 días (tardía), producción de 3000 kg/ha., fuerte ante el mildiu, se recomienda en áreas como Melgar, Azángaro, Lampa, Mañazo y Vilque (FAO, 2016).

Illpa – INIA: Tamaño de semilla 1,8 a 2 mm de dimensión, de color blanco, tiempo de desarrollo de 150 días, con una media de producción 3,08 kg/ha y resistente al mildiu (FAO, 2016).

Blanca de Juli: De grano de regular tamaño con 1,4 a 1,8 mm, semi dulce, color blanco, tiempo de desarrollo de 160 a 170 días (semitardía) producción de 2500 kg/ha (FAO, 2016).

Tahuaco: Granos de tamaño de 1,5 a 1,7 mm, es semi-dulce, color blanco, tiempo de desarrollo de 180 a 190 días, producción media de 3000 kg/ha (FAO, 2016).

Witulla: De grano de regular tamaño 1,5 a 1,8 mm, es amarga, de color morado a rosado, se siembra por las zonas de Ilave- Puno, producción (1200 a 1800 kg/ha), tiempo de desarrollo de 180 días, fuerte ante el ataque de mildiu (FAO, 2016).

Pasankalla: Es una variedad precoz, tiempo de desarrollo de tan solo de 4 a 5 meses, el grano contiene el endospermo de color castaño-rojo y el pericarpio color plomo (FAO, 2016).

INIA 420 Negra Collana: Conocido comúnmente por “Quytu jiwras”, su mayor producción se obtiene en el área agroecológica suni ubicada en el altiplano, desde los 3815 hasta los 3900 msnm, poseendo un clima frio-seco, precipitación de 400 a 550 mm (seca) y temperatura de 4° a 15 °C, el tamaño de las plantas puede alcanzar desde 0,94 a 1,10 m, el tiempo de desarrollo va de 136 a 140 días, los granos contienen epispermo de color negro, y el pericarpio de color plomo, con producción promedio de 3000 kg/ha (FAO, 2016).

Figura 3

Variedades de quinua más comerciales del Perú



Nota. FAO (2016)

2.2.2. Almidón

2.2.2.1. Definición.

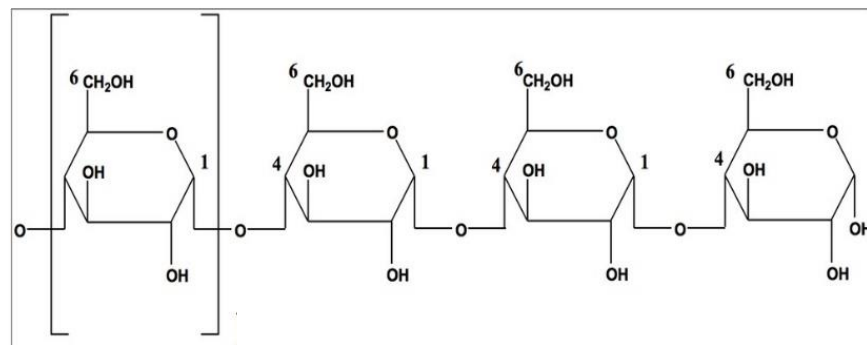
Según Quintana y Cortázar (2000) es un hidrato de carbono con composición de glucosa y de dos polisacáridos, la amilosa partícula lineal y la amilopectina partícula ramificada similar a la de un árbol; es por eso que el almidón es muy probable que sea el polisacárido que más abunda, encontrándose en tubérculos, cereales, tubérculos y diversidad de frutas entre ellas la banana, cabe precisar que los almidones están compuestos por aproximadamente 17 a 27% de amilosa y lo demás amilopectina. Entro de la dieta humana el almidón es el componente más relevante de energía, en la producción de alimentos, este hidrato de carbono aumenta las características de función en los productos alimenticios, entre ellos como espesante, la emulsión, la estabilidad y la adhesión (González *et al.*, 2012).

2.2.2.2. Estructura química.

Mendoza *et al.* (2017) señala que el almidón viene a ser macromoléculas de comprensión de azúcar en una parte de átomos de C, H y O de 6:10:5 estando inherente de manera granular en las semillas, raíces y tubérculos; el almidón no corresponde a un producto homogéneo, la mayor parte de estos se componen de dos macromoléculas: amilopectina y amilosa.

Figura 4

Estructura de la amilosa



Nota. Martínez (2014).

Martínez (2014) señala que el almidón es un polímero que está constituido por el vínculo de dos moléculas de glucosa que tienen como fin ser la reserva de energía.

2.2.2.3. Composición química

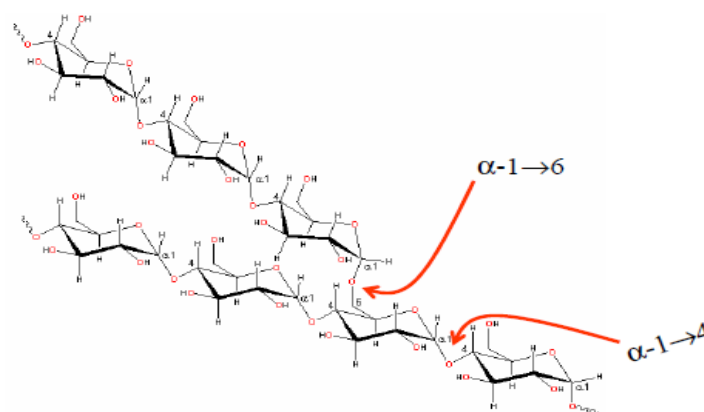
Amilosa: formada por cadenas de α -Dglucopiranosilo conectadas por enlaces α -(1 \rightarrow 4), sin embargo tratándose de una molécula grande lineal, existiendo una simetría mínima de 0,3 a 0,5 de cruces por enlaces α -(1 \rightarrow 6), su contenido particular puede variar desde 1×10^5 y 1×10^6 Da (Dalton) y llegando a aportar cerca de 500 y 6000 unidades de azúcar, su origen lineal le da a la amilasa ciertas propiedades únicas, entre ellas su alto nivel para conformar

complejos con yodo, ácidos orgánicos, alcoholes y su tendencia a unirse a sí misma (Marín, 2016).

Amilopectina: compuesta por α -D-glucosa, vinculada por enlaces α - (1 \rightarrow 4), con mayores ramificaciones comprado con la amilosa, con un 4-5% de enlaces α - (1 \rightarrow 6); el contenido molecular es del orden de 108 Da, con un aproximado de 6000 restos de glucosa (Marín, 2016).

Figura 5

Estructura de la Amilopectina principal componente del almidón



Nota. Manrique (2010)

2.2.2.4. Características fisicoquímicas de los almidones

Tabla 1

Características fisicoquímicas de los almidones de quinua

Autor	Indicador	Valor
Aristizábal y Sánchez	pH	6,0 – 6,5
(2007).	Acidez total (%)	$2,2 \times 10^{-3}$ - 5×10^{-3}
Narváez (2007)	Granulometría (mm).	0,05 – 0,30
	Carbohidratos (%)	80,98 – 93,53
	Fibra (%)	1,74 – 1,76
AOAC (2000)	Humedad (%)	11,12 – 11,22
	Proteína (%)	0,20 – 0,22
	Lípidos (%)	3,71 – 4,18
	Ceniza (%)	0,27 – 0,30

2.2.2.5. Propiedades funcionales del almidón.

Temperatura de gelatinización

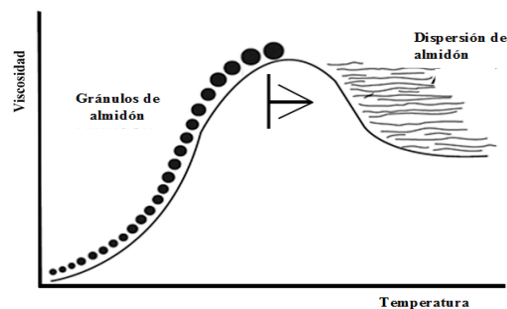
Las partículas de almidón son insolubles en agua fría, su conformación es organizada en un alto grado, puesto que muestra solidez ante las diversas interacciones existentes con sus dos polisacáridos que lo constituyen, ya que, llegando a determinadas temperaturas habitualmente cerca de 65 °C, esto dependiendo de la variedad de almidón, la semilla logra su máximo volumen y perdiendo su modelo de difracción de rayos x y la característica de birrefringencia (Badui, 2006).

Marín (2016) expresa que, calentando, la composición del gránulo varía de forma significativa y el hinchamiento puede ser no reversible, conociendo a este desarrollo como gelatinización y la temperatura donde sucede este hecho es la temperatura de gelatinización; la partícula disminuye su birrefringencia, la amilosa

se extiende hasta el agua y quedando dentro del granulo la amilopectina. A esta circunstancia del desarrollo, el gránulo de almidón disminuye su composición y la amilosa al exterior del gránulo conforma una malla y genera un gel.

Figura 6

Gelatinización del almidón



Nota. Badui (2006).

Retrogradación

Fennema y Tannenbaum (2001) sostienen que, al enfriar y dejarlas reposar las pastas de almidón, progresivamente se convierten en menos soluble, en soluciones diluidas las moléculas de almidón frecuentan a precipitarse, y este componente insoluble cada vez es más complicado de redissolver por calentamiento, el desarrollo colectivo de disminución de solubilidad del almidón disuelto es conocido como retrogradación.

Poder de Hinchamiento

Granados *et al.* (2014) mencionan que, la tendencia a hinchamiento está en relación con las capacidades de absorción del agua de cada almidón, la capacidad de incremento del almidón, es característico de la constitución de amilopectina, en donde la amilosa es un disolvente e inhibidor del abultamiento.

Índice de absorción de agua

Granados *et al.* (2014) afirman que, el indicador de absorción de agua se le asigna a la diferencia existente en la conexión amilosa/amilopectina, del mismo modo a la disparidad en la disposición en la largura de la cadena.

Índice de solubilidad en agua

Fennema y Tannenbaum (2001) afirman que, una vez que el almidón ha dado lugar a la formación de una pasta y desecado sin demasiada retrogradación, puede ser redisolto en agua fría, la mayor parte del almidón de este tipo comercializado se elabora haciendo fluir la suspensión de almidón en agua en el estrecho paso entre dos rodillos calentados por vapor girando en sentido contrario y muy cercano entre sí.

Viscosidad

Arzapalo *et al.* (2015) expresan que, la amilopectina con una masa molar máxima produce geles mucho más pegajosos a mayor calor; en tanto que la amilosa es la causante de elevadas viscosidades una vez que la pasta se enfría, obteniendo el resultado de una estabilidad extrema al descongelamiento y una baja retrogradación para los mismos, se sugiere aplicarlos en productos expuestos a estos procesos.

2.2.2.6. Tipos de Extracción del Almidón.

Remojo de agua

Jan *et al.* (2017) señalan que los granos de quinua y harina, se empapan en agua en cantidades de 1:6 (quinua: agua) con

agitación intermitente aproximadamente a 4 °C durante 24 h, que posteriormente es sometida a molienda húmeda durante 2 min usando una batidora de laboratorio. Posteriormente la suspensión obtenida de la molienda, se filtra a través de una serie de filtros (100, 200 y 300 µm de tamaño) y el filtrado obtenido será centrifugado a 5500 rpm durante 15 min. El sobrenadante se descarta y la capa amarillenta de encima de la torta de almidón es cuidadosamente desechado. El almidón recuperado de la torta se resuspende en el agua y se centrifuga, repitiendo el proceso de purificación cuatro veces; logrando la purificación del almidón. Finalmente, el desecado se realiza en un equipo que emita aire caliente de 40 °C durante 6 h.

Remojo alcalino

Jan *et al.* (2017) indican que se extrae almidón remojando las semillas de quinua en concentraciones variables de álcali (0,20; 0,25 y 0,30 % de soluciones de NaOH] durante 24 h con relación de a las cantidades de 1:6 (quinua: agua). Posteriormente, la mezcla se empapa durante 24 h y luego se somete a molienda húmeda, la suspensión resultante se filtra a través de una serie de tamices de número de malla de 100, 200 y 300 µm. El producto filtrado se centrifuga a 6500 rpm por 15 min, la torta de almidón recuperada se resuspenderá en el agua y se centrifugará, el proceso de purificación se repite cuatro veces. Finalmente, el almidón purificado es secado en aire caliente en un horno a 40 °C durante 6 h.

2.2.2.7. Reología.

Definición

Bird (1998) señala “es la ciencia del flujo y la deformación”, la misma que está estudiando las características mecánicas de los líquidos, gases, sustancias asfálticas, plásticos, compuestos cristalinos y otros. Ramírez (2006) refiere que, la actitud reológica en circunstancia estacionaria de la gran mayoría de los fluidos se establece según la ecuación número 1.

$$\sigma_{yx} = -n \frac{dv_x}{dy} \dots \dots \dots Ec. 1$$

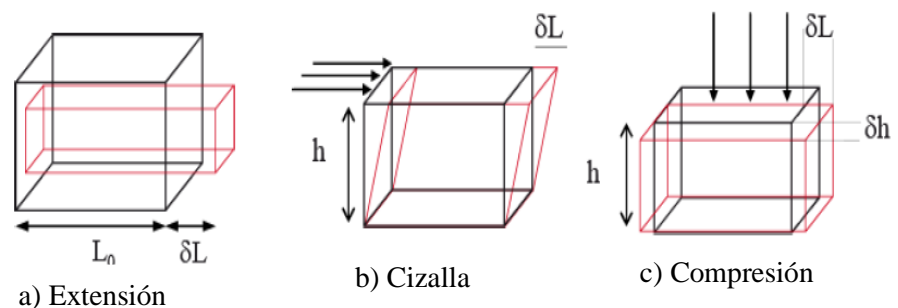
En la viscosidad, n , se puede expresar a su vez en función de $\frac{dv_x}{dy} =$ velocidad de deformación del fluido o $\sigma_{yx} =$ esfuerzo cortante (mPa.s)

Deformación

La deformación son los cambios de forma o tamaño de un cuerpo producto de acciones internas generadas por una o más energías aplicadas en tal o el suceso de dilatación térmica, los cuerpos se distorsionan a partir de que actúe una fuerza, una vez que se le somete a tensión y los esfuerzos ejecutados pueden ser de tipo extensional, de cizalla o de compresión (Ramírez, 2006).

Figura 7

Modelos de deformación



Donde:

L_0 : Largo, h : Altura, δL : Deformación de largo, δh : Deformación de alto.

a) Tipos de deformación

Deformación elástica o reversible

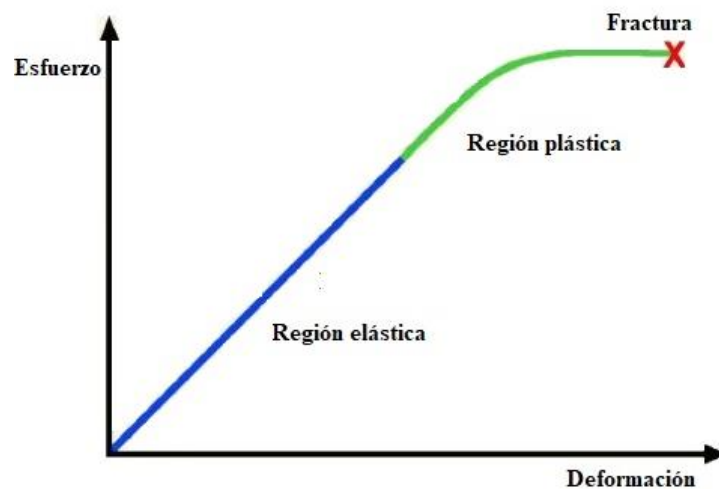
Ramírez (2006) señala que, el cuerpo vuelve a su estructura origen al quitar la energía que le causa la alteración, en esta acción de deformación, el sólido, al cambiar su forma tensional y subir su fuerza interior a manera de energía potencial elástica, solamente se producen diferencias termodinámicas reversibles.

Deformación plástica o irreversible

Ramírez (2006) señala que la forma de alteración que la materia no vuelve a su disposición original posterior a quitar la carga ejercida, esto produce debido a que, en la alteración plástica, el material sufre alteraciones termodinámicas no reversibles al obtener mayor fuerza potencial elástica.

Figura 8

Deformación plástica



Nota. Ramírez (2006)

Viscosidad

Ramírez (2006) indica que, la viscosidad es una unidad de la tolerancia a la alteración del fluido y que se relaciona con la Ley de Newton, relacionando la acción cortante con la velocidad de alteración y que se representa:

$$\tau = \mu \cdot \gamma \dots \dots \dots \text{Ec. 2}$$

Donde:

τ : (mPa) esfuerzo cortante

μ : (mPa. S) Viscosidad

γ : (s^{-1}) Velocidad de deformación

a) Tipos de Viscosidad

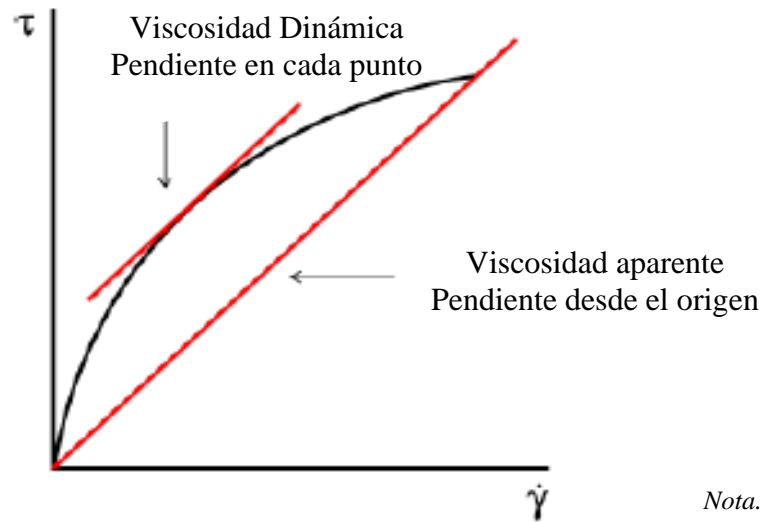
La viscosidad dinámica o absoluta

Denominada “ μ ” si se muestra la curva de fluidez (esfuerzo cortante ante la velocidad de alteración) asimismo este definido como la pendiente en cada extremo de la curva (Ramírez, 2006).

La viscosidad aparente

Representada por “ n ”, es señalada como el cociente de la acción cortante y la velocidad de alteración; terminología utilizada al comentar de viscosidades para fluidos no newtonianos (Ramírez, 2006).

Figura 9 Curva de fluidez para representar la viscosidad dinámica y aparente



Nota.

Ramírez (2006)

Viscosidad cinemática

Según Ramírez (2006), hace una relación entre densidad del fluido usado y viscosidad dinámica y la; la medida más utilizada es los centistokes [cst].

$$1 \text{ stoke} = 100 \text{ centistokes} = \frac{cm^2}{2}$$

Su ecuación es la siguiente:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \dots \dots \dots Ec. 3$$

Siendo:

v = Viscosidad cinemática

μ = Viscosidad dinámica

ρ = Densidad del fluido

b) Variables que influyen en la viscosidad

Variación de la viscosidad con respecto a la temperatura

Ramírez (2006) menciona que, la viscosidad se minimiza cuando aumenta la temperatura, por lo que las ecuaciones que permiten hallar la viscosidad de los líquidos son:

La ecuación de Arrhenius. Describe la reacción que hay entre la viscosidad [n] y la temperatura (T) (Bird, 1998).

$$n = A \left(\frac{E_a}{RT} \right) \dots \dots \dots Ec. 4$$

Donde:

n : Viscosidad dinámica [mPas]

A : Viscosidad cuando el tiempo tiende al ∞

E_a : Energía de activación al flujo.

R : Constante de los gases que tiene el valor de 8,314 J/mol. K

T : Temperatura.

La ecuación de Poiseville (1840). Es una ecuación que permite la determinación del flujo laminar estacionario de un líquido homogéneamente viscoso (también denominado fluido newtoniano) (Bird, 1998).

$$\Delta p = \frac{8\pi\mu L Q}{A x A} \dots \dots \dots Ec. 5$$

Donde: A^2

Δp : Diferencia de presión

L : Longitud tubería

μ : Viscosidad dinámica

Q: Caudal volumétrico

R: Radio de la tubería

A: Sección transversal de la tubería

Variación de la viscosidad con la temperatura y la presión.

Para la determinación de la viscosidad de acuerdo con el aumento de calor y la coacción (para líquidos tipos de aceites lubricantes) (Ramírez, 2006). Propone la ecuación:

$$\mu = \mu_0 \exp \left[AP - \frac{B}{T - T_0} \right] \dots \dots \dots Ec. 6$$

Donde:

μ_0 es la viscosidad a T_0 y a presión atmosférica.

A: 1/430

B: 1/36

Variación de la viscosidad con la presión.

En los líquidos crece de manera exponencial, ante tal acción, el agua de 30 °C es el caso único en que la viscosidad se minimiza, las modificaciones de viscosidad en cuanto a tensión son bastantes reducidos para presión distinta a la atmosférica (Ramírez, 2006).

Fluidos

a) Definición

Un fluido este definido como un elemento que se deforma de manera continua ante la ejecución de acciones cortantes, las propiedades reológicas de un líquido o semilíquido son unos de los principios fundamentales en la elaboración de bienes industriales y sus características se definen en base a la conexión

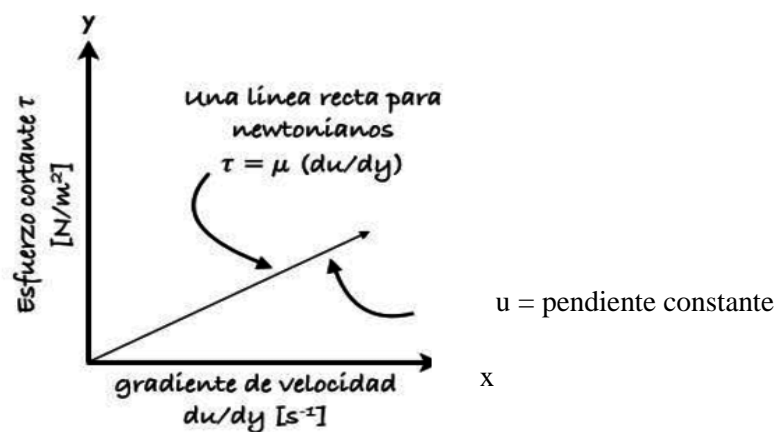
que existe entre la fuerza o conjunto de fuerzas exteriores (Ramírez, 2006).

b) Fluidos newtonianos

Los newtonianos son fluidos en los cuales el deslizamiento referente de componentes de fluido a la circular uno por encima del otro es conforme a la acción cortante acerca del fluido; aquí se encuentran moléculas simples como butano, alcohol, petróleo, amoníaco, cloroformo, benceno, así mismo el agua líquida y todos los gases (Ramírez, 2006).

Figura 10

Representación de un flujo Newtoniano



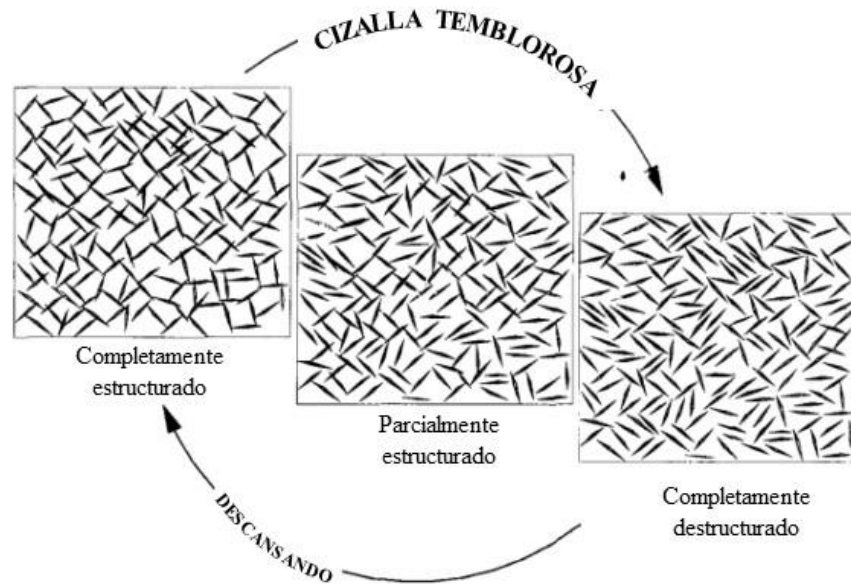
Nota. Ramírez (2006).

c) Fluidos Tixotrópicos

Se diferencian en cuanto a su composición interior por la aplicación de un esfuerzo, esto genera la partición de las extensas cadenas que componen molécula; la potencia que recaen sobre las composiciones son electrostáticos formándose a través del cambio de iones adentro del fluido, causando afinidad y expulsión entre si provocando variaciones de estructura (Ramírez, 2006).

Figura 11

Características de un fluido tixotrópico



Nota. Ramírez (2006).

2.2.2.8. Aplicación de los Almidones

Este carbohidrato es el componente esencial de la dieta del ser humano a partir de la prehistoria, asimismo se viene dado gran número de utilidad industrial; partiendo de este hidrato de carbono se generan distintos derivados, como la glucosa, las dextrinas y los almidones modificados, los cuales son ampliamente utilizados en la producción de gran número de alimentos, además en distintas industrias de productos no comestibles (Badui, 2006).

2.3. Definición de conceptos

2.3.1. Quinoa

La quinoa conocida comercialmente como quinoa, de nombre científico (*Chenopodium quinoa* Willd) es una planta herbácea originaria de la región andina; que presenta características botánicas, anatómicas y

fisiológicas distintas a las de un cereal y con un alto contenido de macronutrientes, aminoácidos y minerales (Soria, 2016).

2.3.2. Almidón

Es un carbohidrato compuesto por varios sacáridos digeribles, de la familia de los glucanos; formado de cadenas de glucosa con composición lineal (amilosa) o ramificada (amilopectina) (Castells, 2009).

2.3.3. Almidones Nativos

Son aquellos almidones que presentan textura gomosa y funciona como cohesivo en alimentos que tienen como fin ser agentes espesantes y su retrogradación e insolubilidad en agua fría brindan un limitado pH (>pH 4) (Pacheco y Techeira, 2009).

2.3.4. Caracterización

La caracterización es una etapa de descripción con objetivos de identificación de la composición, actores, sucesos, desarrollo de métodos y contextos de una experiencia, suceso, o una transformación (Centro de Desarrollo Virtual (CEDEVI), 2010).

2.3.5. Reología

La reología es la ciencia del flujo la alteración de la materia, describiendo las interrelaciones de acciones, tiempo y alteraciones, se aplica a todos los materiales, partiendo de los gases hasta los sólidos (Rojas *et al.*, 2012,).

2.3.6. Extracción

Técnica utilizada para separar productos orgánicos de aleaciones o para separarlo de sus fuentes de origen (Fernández, 2012).

2.3.7. Propiedades Fisicoquímicas

Son aquellas que indican acerca del comportamiento del material ante distintos hechos externos, como el calentamiento, las deformidades o la agresión de productos químicos; estas características son establecidas acorde con composición microscópica del material que señala los tipos de enlaces atómicos (Torres, 2014).

2.3.8. Propiedades de Flujo

Son variaciones en el fluido que en relación de distintas variables físicas como densidad, presión y velocidad afectan su estructura en tiempo y espacio (Universidad Autónoma de Baja California, 2008).

2.3.9. Viscoelasticidad

Tipo de accionar reológico que muestran determinados materiales que muestran tanto características viscosas como propiedades elásticas cuando se alteran; la alteración por lo general tiene dependencia del tiempo; aun en no presencia de fuerzas, la velocidad de deformación puede ser distinta de cero (Equipos y Laboratorio de Colombia, 2011).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

Las semillas de las tres variedades de quinua se obtuvieron en centro poblado Alto Huaracóni, distrito de Azángaro, provincia de Azángaro, región Puno; situado a 3865 msnm, latitud sur 14°54'30"S, longitud oeste 70°11'49"O, ubigeo 2102010143 y código postal 21160. La fase experimental del proyecto se realizó en los Laboratorios de la EPIA, Facultad de Ciencias Agrarias, de la UNACH.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Semillas de quinua de las variedades roja, negra y blanca, recién cosechados en el centro poblado Alto Huaracóni - Azángaro – Azángaro – Puno.

3.2.2. Muestra

10 kg de quinua de cada variedad (roja, negra y blanca) recién cosechados en el centro poblado Alto Huaracóni - Azángaro – Azángaro – Puno; el criterio para determinar la cantidad de muestra a utilizar fue por conveniencia.

3.3. Equipos, materiales e insumos

3.3.1. Materiales

- Vasos de precipitación
- Tinajas.
- Jarras.
- Tela.
- Placas Petri

- Dedal de extracción de celulosa
- Algodón
- Soxhlet de vidrio
- Matraz aforado
- Cubetas de cuarzo
- Tubos con tapa
- Pipetas
- Probetas
- Fiolas
- Micropipetas
- Campana desecadora
- Termómetro
- Cronómetro
- Soporte universal

3.3.2. Equipos

- Test de floculación (Velp Scientifica, modelo JLT6).
- Licuadora industrial (Skymesen, modelo LAR-04MB).
- Centrífuga (Geetmed, modelo 800D).
- Estufa (Binder).
- Vortex (Topscien, modelo TVM – A89).
- Balanza analítica (Sartorius, modelo ENTRIS224I-1S).
- Balanza de precisión (SHS, modelo GX-600).
- Espectrofotómetro (PG Instruments, modelo T80+).
- Baño maría (Lab. Companion, modelo BW-20G).
- Cocina magnética (Velp Scientifica, modelo AM4).

- Mufla (Nabertherm GmbH, modelo L-031K2RN).
- Reómetro (Anton Para, modelo MCR92, Austria).

3.3.3. Insumos y reactivos

- Dimetil sulfóxido 99,7 %.
- Amilosa pura de papa tipo III (Sigma Aldrich).
- Amilopectina pura de papa (Sigma Aldrich).
- Solución de yodo

3.4. Metodología de la investigación

3.4.1. Tipo de investigación

La investigación fue aplicada, se utilizaron técnicas, metodologías y procedimientos en la obtención de resultados. En tanto, el nivel de investigación fue explicativo-predictivo, porque explica y predice el fenómeno, situación y contexto, y las variables son manipuladas de manera intencional.

3.4.2. Diseño de investigación

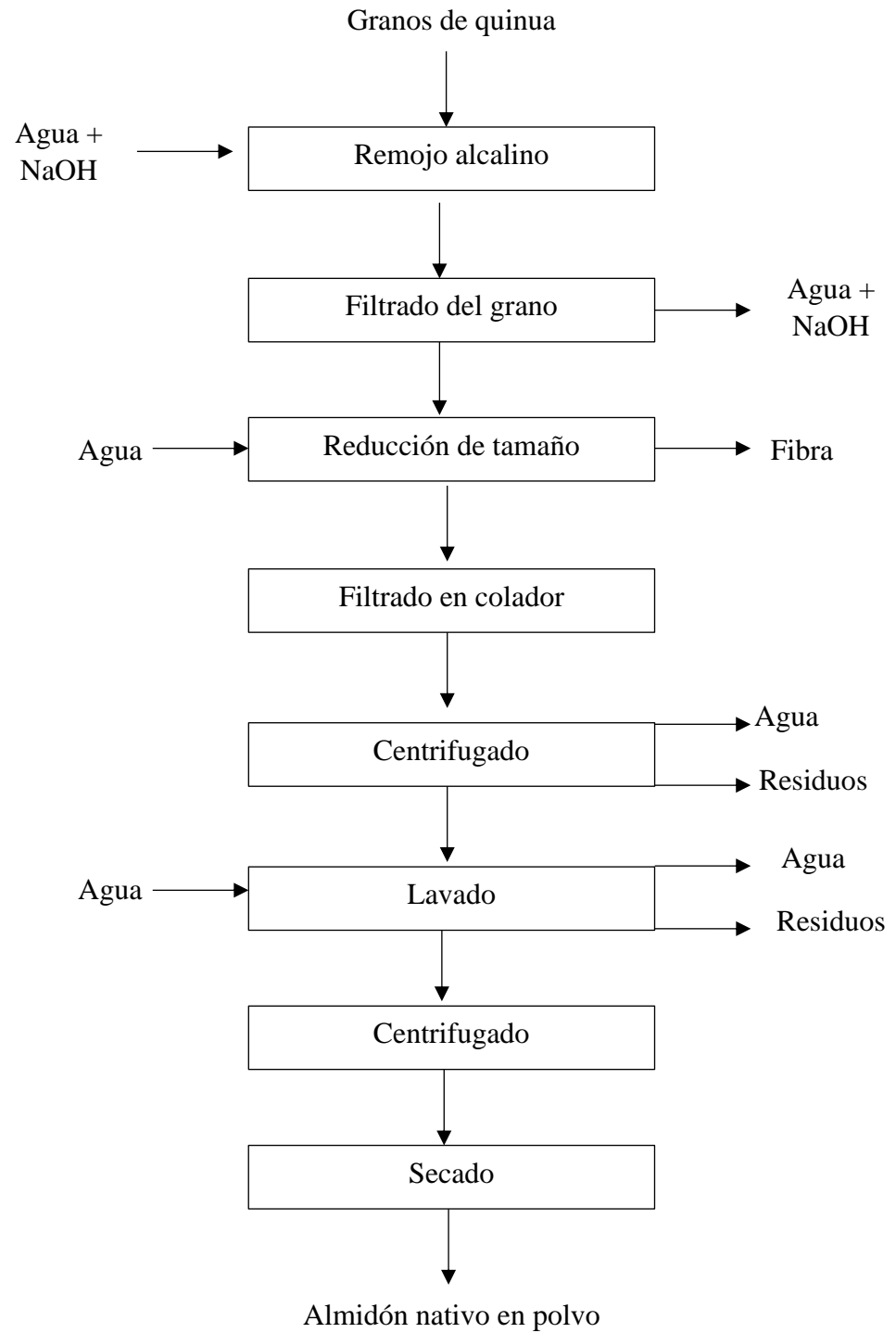
La investigación fue de diseño completamente al azar (DCA); con tres tratamientos, siendo las tres variedades de quinua roja, negra y blanca y se efectuó tres repeticiones para cada tratamiento; así mismo, se realizó la medición de las variables de respuesta fueron el rendimiento del almidón, composición química, propiedades reológicas y propiedades viscoelásticas.

3.4.3. Obtención de muestras

Los granos de quinua de las variedades: blanca, negra y roja, fueron utilizadas para la extracción de almidones nativos.

3.4.4. Extracción de almidón.

Se efectuó utilizando el método propuesto por Jan *et al.* (2017) . Para ello, a los granos de quinua se les adicionó solución de NaOH durante 24 h, en la relación de las cantidades 1 de quinua: 6 de solución de NaOH. Las muestras fueron empapadas en soluciones de 0,30% de NaOH; en seguida se lavó y se sometió a molienda húmeda en una licuadora semiindustrial (marca nacional); luego se filtró la suspensión resultante mediante una serie de tamices de tamaño de malla de 100, 200 y 300 μm . Posteriormente, se pasó por una centrífuga a 4500 rpm por 15 min. El sobrenadante fue separado y el manto amarillento que estuvo sobre de la torta de almidón fue desechada con mucho cuidado; la torta de almidón recuperada fue nuevamente sumergida en el agua y se volvió a centrifugar, este proceso de purificación se repitió cuatro veces y el almidón purificado fue desecado en una estufa a 40 °C por 6 h (Figura 12).

Figura 12*Flujo de extracción de almidón*

3.4.5. Determinación del rendimiento de almidón

La productividad del almidón fue evaluada de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{\text{Peso de almidón (g)}}{\text{Peso de quinua (g)}} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ec. 7}$$

3.4.6. Determinación de las propiedades fisicoquímicas del almidón

La composición de cenizas y humedad, se determinó a través del método descrito por (AOAC, 1995). El contenido de amilopectina y amilosa se estableció mediante el procedimiento definido por Velásquez y Velezmoro (2018) con ciertas modificaciones, en la cuál 20 miligramos de muestra de almidón (anteriormente desengrasados con éter de petróleo) fueron ubicados en un tubo con tapa con 8 mL de dimetilsulfóxido y sometidos al calor en baño maría a 85 °C por 20 minutos; luego, se tomó 50 microlitros (µL) de ésta disolución y se agregó 7 mL de agua destilada y 750 µL de una solución de yoduro de potasio y; se homogenizó y se realizó la lectura en un espectrofotómetro a 600 nm. Se hizo una curva de calibración a partir de los estándares de amilosa y amilopectina, donde tanto amilosa y amilopectina se mezclaron en proporciones de 0 a 50% (0, 10, 20, 30, 40 y 50% de amilosa y la diferencia de amilopectina hasta completar el 50%).

3.4.7. Determinación de la dependencia del tiempo en las pastas de almidones nativos

Se siguió el procedimiento descrito por Velásquez y Velezmoro (2018). Las mediciones con respecto a la dependencia del tiempo se realizaron con una acción cortante controlada (σ) en el reómetro, La geometría utilizada fue de 40 mm de diámetro, plato – plato y estriada. La

división entre el peltier y la última parte de la geometría (GAP) fue 1,0 mm. Se utilizó una suspensión de almidones a 4% w/w (peso/peso) que fueron ubicados en baño maría a 90 °C con agitación por 30 min. Luego, se colocó en el reómetro y fueron mantenidos a 25 °C por un tiempo de 5 minutos. Seguidamente los geles fueron sometidas a cizallamiento permanente a 300 s⁻¹ por 5 minutos. Se registró los resultados de tiempo (t), esfuerzo cortante máximo (σ_{max}), esfuerzo cortante de equilibrio (σ_e) y acción cortante (σ), y se aplicó los modelos que dependen del tiempo de la Tabla 3.

Tabla 2

Modelos reológicos dependientes e independientes del tiempo

Ecuación	Modelo	Ecuación
Weltman	$\sigma = A - B \ln t$	8
Hahn	$\log(\sigma - \sigma_e) = P - at$	9
Figoni-Shoemaker	$\sigma = \sigma_e + (\sigma_{max} - \sigma_e) \exp(-kt)$	10
Herschel-Bulkley	$\sigma = \sigma_0 + K\gamma^n$	11

Nota. Esfuerzo cortante de equilibrio (σ_e , Pa), esfuerzo cortante (σ , Pa), tiempo (t,s) y esfuerzo cortante máximo (σ_{max} , Pa). En cuanto a parámetros de los modelos dependiente del tiempo son: a y B , parámetros que señalan la proporción de composición que se pierde en el proceso de la cizalladura; P y A, parámetros que señalan la rapidez con la que degrada la composición; k, parámetro da a conocer la ruptura de la estructura, finalmente el modelo de Herschel – Bulkley presenta: n (índice de flujo), K (índice de consistencia, Pa.sⁿ) y σ_0 (esfuerzo inicial, Pa).

3.4.8. Determinación de las propiedades reológicas comportamiento al flujo

Para determinar las características reológicas las muestras se prepararon siguiendo igual procedimiento en la sección 4.4.7 (Determinación de la dependencia del tiempo en las pastas de almidones nativos); se utilizó el

reómetro, la misma geometría y GAP; seguidamente se ubicó dentro del reómetro y las pruebas de cizallamiento en situación estacionaria se desarrolló de acuerdo a la metodología escrita por Velásquez y Velezmoro (2018), con algunas modificaciones, la razón de corte utilizada fue de 0,01-100 s⁻¹. Luego, se utilizó un protocolo logarítmico descendiente (100-0,01 s⁻¹) y hizo la determinación del accionar del fluido haciendo uso del modelo de Herschel-Bulkley, para lo cual se usó la curva de bajada de acuerdo a Velásquez y Velezmoro (2018).

3.4.9. Determinación de las propiedades viscoelásticas

Se utilizó el mismo equipo, geometría, GAP y el mismo método para preparar los geles que el del apartado 3.4.7. Para determinar las propiedades viscoelásticas, se hizo uso del barrido de frecuencia oscilatoria y barrido de tensión oscilatoria y se usó el método que propuso Pycia *et al.* (2015) con algunas variaciones. para calcular el rango viscoelástico lineal de los geles, se ejecutó barridos de tensión oscilatoria de 0,01 - 100 Pa a frecuencia de 1 Hz. Seguidamente, se realizó medición de barrido de frecuencia a 1 Pa de tensión oscilatoria (intervalo viscoelástico lineal). La frecuencia oscilatoria (ω) varió de 0,01 a 10 Hz. Luego, se registró el módulo de pérdida (G''), almacenamiento (G') y viscosidad compleja (η^*) de los geles de almidones de granos de quinua en relación a la frecuencia de oscilación (ω).

3.5. Diseño experimental y análisis estadístico

Se hizo uso del DCA, con repeticiones por triplicado, siendo los almidones nativos obtenidos de tres variedades de quinua (roja, negra y blanca) los tratamientos. Se hizo uso del software microsoft Excel 2016 para determinar la desviación estándar y la media, para la comparación de medias de Tukey se

empleó el software SPSS 15.0. Los parámetros de los modelos reológicos se determinaron mediante la herramienta solver de microsoft Excel 2016.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento y propiedades químico proximal de almidones de tres variables de quinua

4.1.1. Rendimiento en la extracción de almidones nativos de tres variedades de quinua.

En la extracción de almidones nativos, el rendimiento en granos de quinua blanca fue mayor, continuando los granos de quinua roja y granos de quinua negra (Tabla 4). Similares resultados fueron obtenidos por Corzo (2018), Bernal *et al.* (2015) y Jan *et al.* (2017) para quinua de la variedad aurora, variedades cultivadas en Colombia y almidón extraído de granos de quinua por remojo en agua. Sin embargo, estos rendimientos fueron menores a los obtenidos por Jan *et al.* (2017), en este estudio obtuvieron un rendimiento de extracción de almidón de quinua por remojo alcalino de 37,78 a 40,89%. El desigual rendimiento de obtención de almidón de quinua puede atribuirse al tipo de quinua utilizada, a la eficiencia de la solución alcalina para hacer más fácil la separación de la fibra y otros compuestos de las semillas de quinua y liberar el contenido de almidón, a la composición química inicial de las semillas de quinua y a la concentración de solución alcalina y tiempo de remojo Velásquez y Velezmoro (2018).

4.1.2. Composición químico proximal de almidones nativos de tres variedades de quinua.

En la Tabla 4 se observa los compuestos químico proximales de almidones nativos de semillas de quinua. La humedad en almidones nativos de quinua negra fue superior que en los almidones obtenidos de las variedades

roja y blanca. Se observó bajos contenidos de cenizas para almidones nativos de los tres tipos de quinua. Similares resultados de contenido de proteínas y cenizas fueron reportados Corzo (2018) y Bernal *et al.* (2015) para quinua de la variedad aurora. Asimismo, Jan *et al.* (2016) y Steffolani *et al.* (2013) reportaron contenidos de cenizas de 0,22 a 0,64% para los almidones de quinua. Así mismo, el contenido de amilopectina y amilosa fueron diferentes en almidones de los tres tipos de quinua (blanca, negra y roja), exhibiendo mayor porcentaje de amilosa el almidón de quinua blanca (Tabla 4). El contenido de amilosa de los almidones nativos de quinua (17,20 – 23,90%) están dentro del rango (3,5 – 23,9%) reportado por Ballester *et al.* (2019), Panesar y Singh (2017), Lindeboom *et al.* (2005), Steffolani *et al.* (2013), Tang *et al.* (2002) y Wright *et al.* (2002).

Tabla 3

Rendimiento y propiedades químico proximal de almidones de tres variedades de quinua

Características	Quinua Blanca	Quinua Negra	Quinua Roja
Rendimiento (%)	34,80±0, 67a	20,83±0,63 ^c	23,31±0,70 ^b
Humedad (%)	11,46±0,02 ^c	12,92±0,02 ^a	11,85±0,12 ^b
Ceniza (%)	0,20±0,02 ^b	0,24±0,01 ^a	0,29±0,04 ^a
Amilosa (%)	23,90±0, 86a	21,10±0,69 ^b	17,20±0,69 ^c
Amilopectina (%)	76,10	78,90	82,81

Nota. Los valores con diferentes letras entre filas muestran que existen diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.2. Influencia del tiempo sobre el comportamiento reológico.

El comportamiento que mostraron las pastas de los almidones nativos para los tres tipos de quinua fue similar, para las tres muestras se observó que disminuye el esfuerzo de corte (τ) con respecto al tiempo hasta alcanzar un valor casi constante, lo cual corresponde al esfuerzo cortante de equilibrio (σ_e), en este punto se muestra el rompimiento de la estructura de la amilosa y amilopectina, así como la pérdida de resistencia del fluido a la velocidad de corte que se aplicó de manera constante (300 s^{-1}). según Cruz (2016) el comportamiento mostrado es típico de los compuestos tixotrópicos.

En la Figura 15 se aprecia mayor esfuerzo cortante para las pastas de almidón de quinua blanca, seguidos de los almidones quinua negra y roja. Diferencias en el esfuerzo de corte a cizalladura constante es debido a las diferencias de contenido de amilosa (Tabla 4). Altas contenidos de amilosa pueden producir geles con alto esfuerzo de corte y este comportamiento fue observado con el almidón de quinua blanca, este mostró contenido más elevado de amilosa (Tabla 4). Así mismo, otros elementos como tamaño de las cadenas de amilopectina y amilosa, cantidad de fósforo y la ramificación de la amilopectina pueden influenciar el esfuerzo de corte de los geles (Nadia *et al.*, 2014).

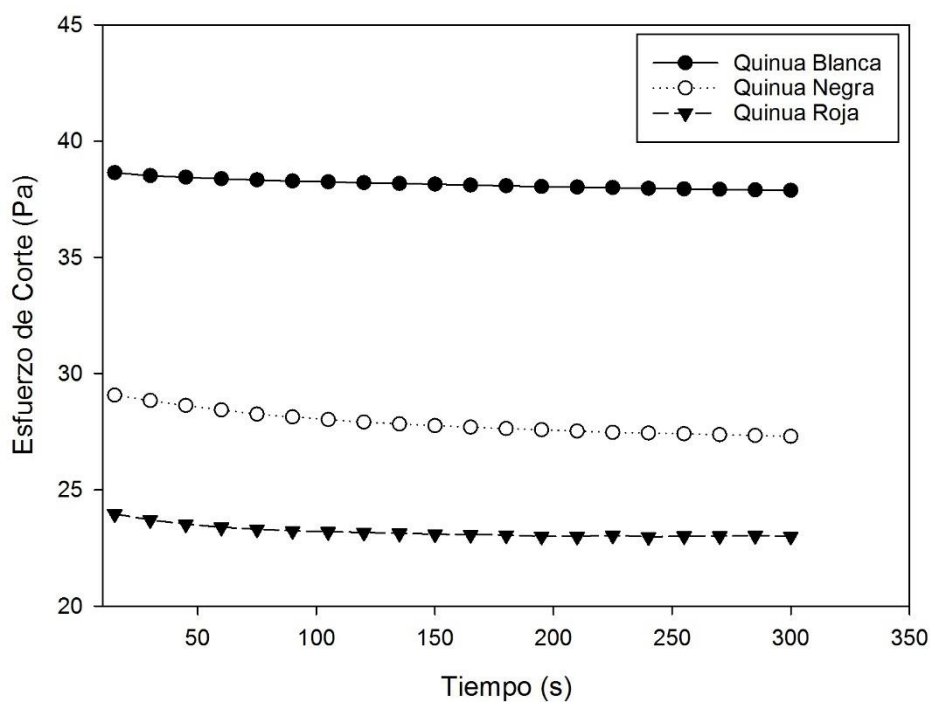
En la Figura 15 se observa que durante el tiempo aplicado y a velocidad de corte constante, el esfuerzo de corte tiende al estado de equilibrio, esto debido a que las cadenas unidas se rompen con la cizalladura (Bhandari *et al.* (2002) y Nguyen *et al.* (1998) y ocurre un reordenamiento de las cadenas causando una viscosidad constante en el tiempo. Los geles de almidón nativo de quinua negra tardaron más tiempo en alcanzar el estado de equilibrio, comparado con las pastas de almidón de

quinua roja y blanca, esto podría verse influenciado por el tamaño de las cadenas y ramificaciones de amilopectina y amilosa, concentración de fósforo y tamaño de los gránulos del almidón (Nadia *et al.*, 2014).

En la Tabla 5 se aprecian los datos de las ecuaciones utilizadas. Según Choi y Yoo (2004) los datos de B (modelo de Weltman) representan la cantidad de cadenas que se han degradado en la cizalladura, siendo más elevado en el gel de almidón nativo de quinua negra; esto demuestra que la estructura inicial se ha degradado mucho más que en las pastas de almidones nativos de quinua roja y blanca. Los datos de a (modelo de Hahn) representan la rapidez con la que la estructura se degrada, siendo mayor en el gel de almidón nativo de quinua roja demostrando que estos geles perdieron su estructura con mayor rapidez en comparación con las pastas formados utilizando almidones nativos de quinua negra y blanca. Los valores de k demuestran la destrucción de la estructura de los geles formados a partir de los almidones nativos, esto fue mayora en los geles de quinua roja, indicando que perdieron su estructura con mayor rapidez. La diferencia de σ_{\max} y σ_e , fue más elevado en las pastas de almidón nativo de quinua roja, seguido de los almidones nativos de quinua blanca y negra; estos datos demuestran el conjunto de estructura degradada en la cizalladura.

Figura 13

Influencia del tiempo en el comportamiento reológico de pastas de almidones de tres variedades de quinua a 300 s^{-1} y 4 % de almidón



El modelo de Hahn presentó el cuadrado medio del error más bajo, siendo el modelo que mejor se ajustó para las pastas de almidones nativos de tres variedades de quinua, esto, comparando con las ecuaciones de Weltman y Figoni – Shoemaker (Tabla 5). Para Choi y Yoo (2004) el modelo de Weltman es el que mejor se ajusta para el comportamiento tixotrópico de las pastas alimentarias, sin embargo, este comportamiento no se aprecia en los geles de los almidones nativos de quinua.

Tabla 4*Datos de los modelos aplicados a pastas de almidón de tres variedades de quinua*

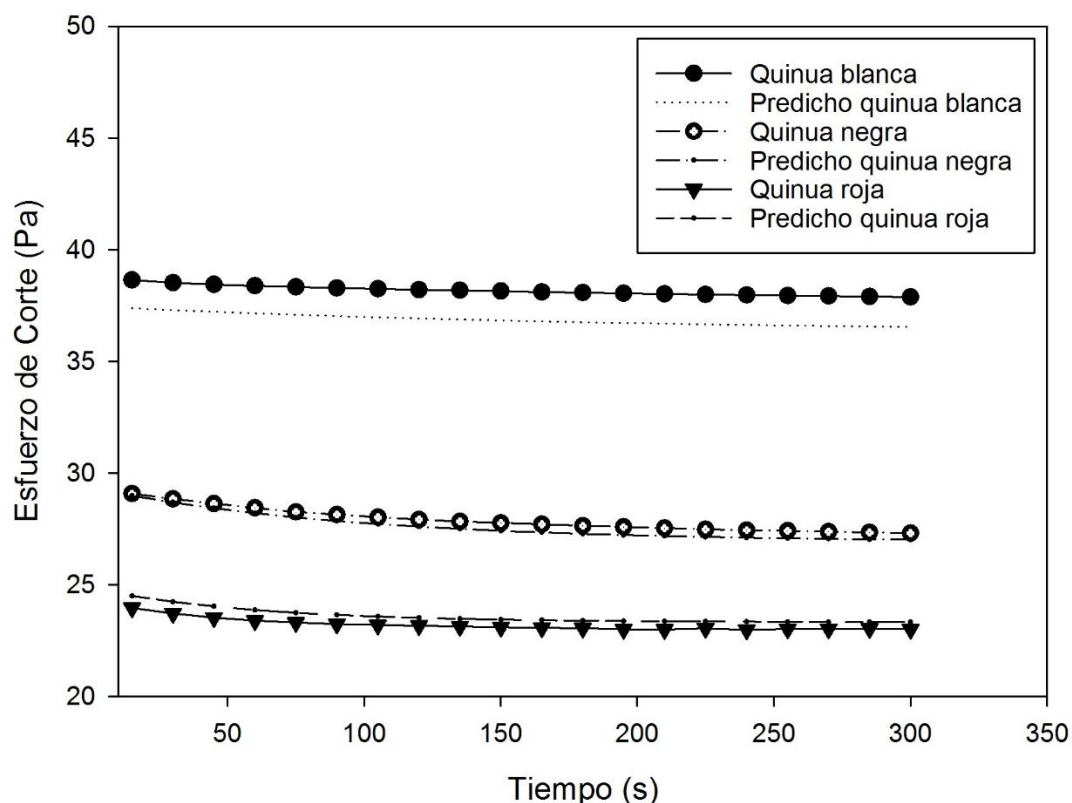
Modelo		Quinua Blanca	Quinua negra	Quinua roja
	A	38,91±0,75 ^a	31,64±1,06 ^b	25,51±0,77 ^c
Weltman	B	0,29±0,03 ^c	0,69±0,04 ^a	0,38±0,05 ^b
	R ²	0,96	0,90	0,73
	CME	0,002±0,00 ^b	0,003±0,00 ^a	0,003±0,00 ^a
	σ_e	37,01±0,99 ^a	27,54±0,86 ^b	23,46±0,55 ^c
Hahn	P	0,03±0,06 ^b	0,37±0,03 ^a	0,15±0,05 ^c
	a	0,002±0,000 ^c	0,004±0,001 ^b	0,0083±0,000 ^a
	R ²	0,96	0,90	0,73
	CME	0,0002±0,00 ^b	0,0003±0,00 ^a	0,0003±0,00 ^a
	σ_e	37,02±0,99 ^a	26,99±0,98 ^b	23,43±0,57 ^c
Figoni-	σ_{max}	38,08±0,85 ^a	27,98±0,98 ^b	24,82±0,68 ^c
Shoemaker	k	0,01±0,00 ^b	0,01±0,00 ^b	0,02±0,00 ^a
	R ²	0,96	0,90	0,73
	CME	0,0002±0,00 ^c	0,10±0,02 ^a	0,0008±0,00 ^b
	σ_o	2,06±0,18 ^a	1,81±0,12 ^b	1,42±0,08 ^c
Herschel-	K	1,26±0,05 ^a	0,50±0,03 ^b	0,32±0,05 ^c
Bulkley	n	0,66±0,00 ^c	0,79±0,01 ^b	0,83±0,02 ^a
	R ²	0,96	0,99	0,99
	CME	0,05±0,00 ^a	0,06±0,01 ^a	0,02±0,00 ^b

Nota. (σ_e , Pa) esfuerzo cortante de equilibrio, (σ , Pa) esfuerzo cortante, (t,s) tiempo y (σ_{max} , Pa) esfuerzo cortante máximo. (a y B) aparecen en las ecuaciones dependiente del tiempo, estos indican la cantidad de estructura que se rompe durante la cizalladura; (P y A) indican la rapidez de degradación de las cadenas; k, hace referencia al rompimiento estructural y en la ecuación del Herschel – Bulkley se

muestra: (K) índice de consistencia, $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$, (σ_0) esfuerzo inicial, Pa, y (n) índice de flujo. Los valores con diferentes letras entre filas muestran que existen diferencias significativas ($p < 0,05$).

Figura 14

Predicción del esfuerzo cortante de geles de almidones de quinua en el ensayo de dependencia del tiempo utilizando el mejor modelo de predicción (modelo de Hahn)



4.3. Propiedades de corte en estado estacionario

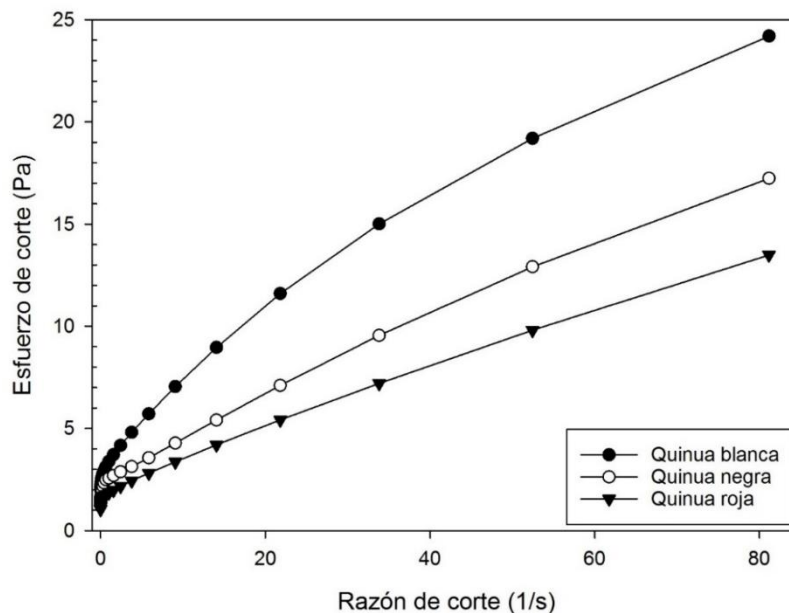
La Tabla 5, muestra los datos de σ_0 , K y n (modelo de Herschel – Bulkley) correspondientes a geles de almidones nativos de quinua blanca, negra y roja; el índice de flujo (n) fue inferior a 1, demostrando que las pastas de los almidones utilizados tuvieron un comportamiento pseudoplástico. El comportamiento pseudoplástico de las pastas de almidones nativos pueden ser atribuidos a la degradación de las cadenas formadas de los geles de almidones durante la cizalladura (Bhandari *et al.*, 2002); lo que produce la disminución del esfuerzo cortante y la viscosidad, similares afirmaciones reportan Nguyen *et al.* (1998) donde reportan que

la viscosidad se reduce por la degradación de las cadenas formada por amilopectina, amilosa y agua en el momento de la cizalladura.

Las pastas de almidones nativos de quinua, requirieron esfuerzo cortante inicial (σ_0) para poder fluir y el σ_0 más elevado fue de los geles de almidones nativos de quinua blanca, seguido de quinua negra y roja; esto demuestra que los geles de almidón nativo de quinua blanca necesitan esfuerzo inicial más elevado para poder fluir, porque la estructura formada de almidón es más fuerte por a su alto contenido de amilosa en comparación con los almidones de quinua negra y roja (Tabla 4). El índice de consistencia (K) fue mayor para los geles de almidones nativos de quinua blanca, seguido de quinua negra y roja respectivamente.

Figura 15

Propiedades de corte en estado estacionario para almidones de tres variedades de quinua



4.4. Propiedades viscoelásticas.

En la Figura 16 se observan los datos de los módulos de G' y G'' (almacenamiento y pérdida) en relación a la frecuencia para los geles de los almidones nativos de las tres variedades de quinua, donde se observa en todo el rango de frecuencia estudiada la predominancia del comportamiento elástico sobre el viscoso ($G' > G''$) siendo el comportamiento de un semisólido. Los geles formados de almidones nativos de quinua roja y negra mostraron mayor módulo de almacenamiento, mientras que mayor módulo de pérdida se observó para en las pastas de quinua blanca.

En la Tabla 6 se observan que los datos de G' son mayores que G'' , por tal razón se dice que predomina el índice de elasticidad sobre el viscoso; parecido comportamiento fue obtenidos por Nadiya *et al.* (2017) en geles de almidones de dos tipos de quinua, donde los valores de G' para ambos geles fueron mayor que G'' indicando su comportamiento más elástico que viscoso.

Tabla 5

Propiedades viscoelásticas de pastas de almidones de tres variedades de quinua medidos a 1 Hz y 4 % de almidón

Parámetro	Quinua Blanca	Quinua Negra	Quinua Roja
G' (Pa)	$9,14 \pm 1,19^b$	$14,16 \pm 0,68^a$	$14,68 \pm 1,88^a$
G'' (Pa)	$2,52 \pm 0,11^a$	$1,52 \pm 0,05^b$	$2,18 \pm 0,22^a$
Tan (δ)	$0,28 \pm 0,02^a$	$0,11 \pm 0,00^c$	$0,15 \pm 0,00^b$
n^* (Pa.s)	$1,51 \pm 0,19^b$	$2,27 \pm 0,11^a$	$2,36 \pm 0,30^a$

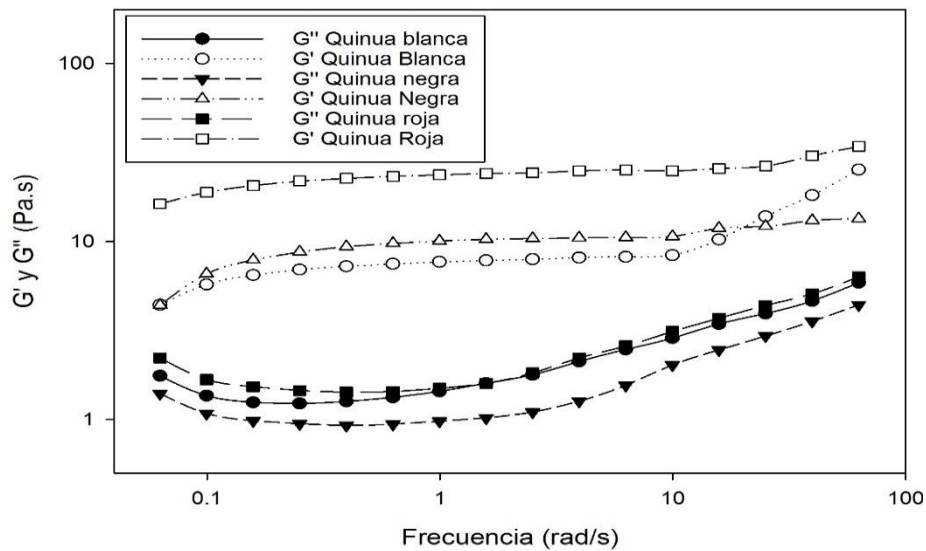
Nota. Los valores con diferentes letras entre filas muestran que existen diferencias significativas ($p < 0,05$).

La $\tan \delta$ (tangente) denominada medida adimensional que compara el porcentaje de energía que ha perdido en la prueba oscilatoria con la cantidad de energía acumulada durante este tiempo y revela si prevalece el comportamiento elástico o viscoso (Cruz *et al.*, 2016; Kyung y Yoo, 2014). Realizando la comparación las $\tan \delta$ conseguidas en el ensayo oscilatorio para geles de almidones nativos de quinua (Tabla 6), la menor tangente de ángulo fue observada en geles formados a partir de almidón nativo de quinua negra, seguido de quinua roja y blanca, lo que reafirma que prevalecen las características elásticas con respecto a las viscosas, con un comportamiento similar al de un sólido. Según Nadia *et al.* (2014), las características elásticas pueden verse influenciados por factores como el tamaño de las cadenas amilopectina y amilosa, contenido de fósforo, tamaño del gránulo del almidón y la ramificación de la amilopectina.

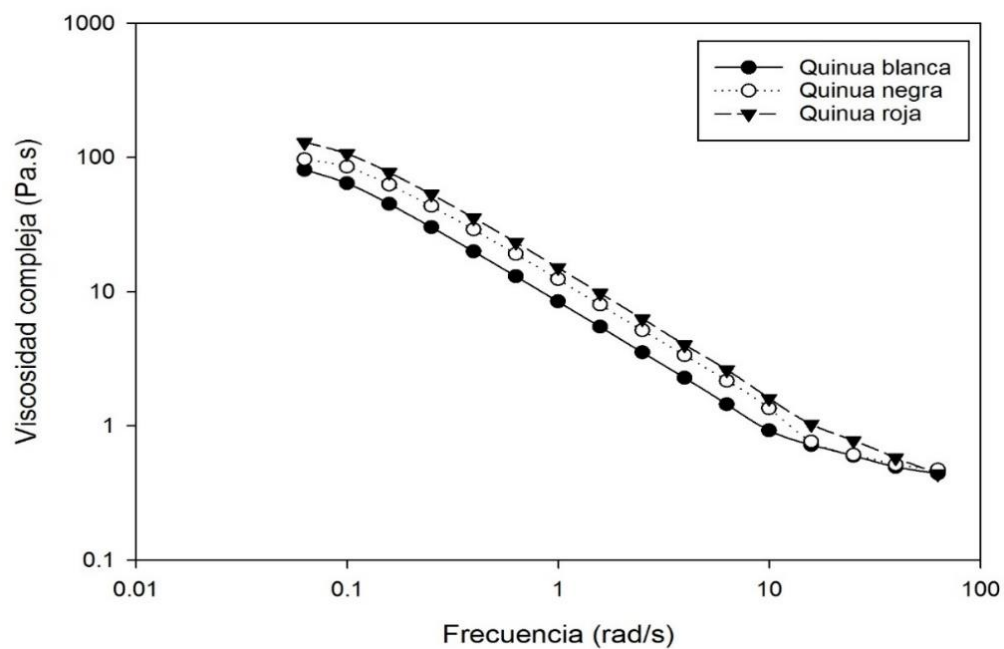
En la Figura 17 se observa el comportamiento de η^* (viscosidad compleja) con relación a la frecuencia oscilatoria para geles formados a partir de almidones nativos de quinua blanca, roja y negra; mostrando que η^* es mayor en geles de almidones de quinua roja seguido de almidones de quinua negra y blanca. Según Karwasra *et al.* (2017) la η^* se correlaciona positivamente con G' , la cual se asocia a los resultados que se muestran en la Tabla 6.

Figura 16

Barrido de frecuencia en pastas de almidones de tres variedades de quinua 1 Pa y 4% de almidón

**Figura 17**

Viscosidad compleja en pastas de almidones de tres variedades de quinua 1 Pa y 4% de almidón



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los resultados obtenidos en la investigación muestran que el rendimiento de extracción de almidón fue de 20,83% a 34,80%, el contenido de humedad de 11,46% a 12,92%, el contenido de cenizas de 0,20% a 0,29%, el contenido de amilosa de 17,20% a 23,90% y el contenido de amilopectina de 76,10% a 82,81%. El rendimiento de extracción de almidón fue mayor en granos de quinua blanca, seguido por granos de quinua roja y negra.

Los geles de almidones de quinua mostraron un comportamiento tixotrópico (reducción del esfuerzo cortante durante cizalladura constante) y el modelo de Hahn fue el modelo que mejor se ajustó el comportamiento de los geles de almidones de las tres variedades de quinua ya que presentó el mayor coeficiente de determinación ($>0,73$) y menor valor de cuadrado medio del error ($<0,0003$).

Las propiedades de corte estacionario los geles de almidones de quinua mostraron valores de n menores a 1, lo que demuestra que los geles de almidones tienen un comportamiento pseudoplástico, y que estos geles al igual que otros geles de almidones nativos necesitan un esfuerzo cortante inicial (σ_0) para poder fluir. El mayor σ_0 lo presentaron los geles de almidones nativos de quinua blanca, seguido de quinua negra y roja, esto demuestra que los geles de almidón nativo de quinua blanca necesitan mayor esfuerzo inicial para poder fluir, porque la red de almidón formada es más fuerte debido a su alto contenido de amilosa.

En los geles de los almidones de quinua blanca, negra y roja predomina el comportamiento elástico sobre el viscoso ($G' > G''$), la viscosidad compleja (η^*) fue mayor en almidones de quinua roja, esto se correlaciona positivamente con G' .

5.2. Recomendaciones.

- Estudiar las propiedades morfológicas, termales y estabilidad de las emulsiones de los gránulos de los almidones nativos de quinua para determinar su aplicación.
- Realizar modificaciones a los almidones nativos de quinua y estudiar su comportamiento reológico.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agrobanco. (2012). Especial del cultivo de quinua. *Agropecuaria*, (4), 1-20. https://www.agrobanco.com.pe/pdf_cpc/RevistaAGROPECUARIA7.pdf
- Aristizábal, J. & Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Boletín de Servicios Agrícolas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s00.htm>
- Arzapalo, D., Huamán, K., Quispe, M. & Espinoza, C. (2015). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) negra collana, pasankalla roja y blanca Junín. *Sociedad Química del Perú*, 8(1), 44-54. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n1/a06v81n1.pdf>
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (4^o ed.). Pearson Educación.
- Ballester, J., Gil, J., Fernández, M., & Haros, C. (2019). Quinoa wet-milling: Effect of steeping conditions on starch recovery and quality. *Food Hydrocolloids*, 89, 837-843. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.053>
- Bermúdez, D. (2017). *Evaluación tecnológica de la harina de quinua (Quenopodium quinoa) variedad piartal como espesante alimentario obtenida bajo diferentes condiciones de proceso* [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle]. Repositorio Institucional Ciencia La Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1075&context=ing_alimentos
- Bernal, C., Ramirez, L., Duarte, P., Guzmán, A., & Acero, J. (2015). Quinoa, *Chenopodium quinoa* (Willd) en Colombia. Caracterización de granulos de almidón natrivo de quinua por IR-ART,ME, DRX. *Fundación Universitaria de América*, 8(2), 122-131. <https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/31/25>
- Bhandari, P., Singhal, R. & Kale, D. (2002). Effect of succinylation on the rheological profile of starch pastes. *Carbohydrate Polymers*, 47(4), 365-371. doi:[https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00215-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00215-6)
- Castells, P. (2009, Septiembre 01). *El almidón*. Investigación y Ciencia: <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/biocarburantes-489/el-almidn-1136>
- Centro de Desarrollo Virtual [CEDEVI]. (2010). *Instrumento de caracterización de experiencias*. Fundación Universitaria Católica del Norte (1).
- Choi, Y., & Yoo, B. (2004). Characterization of time-dependent flow properties of food suspensions. *Food Science and Technology*, 39(7), 801-805.

- Choquehuayta, D. (2017). *Análisis reológico de harinas y almidones aislados de cinco variedades de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) para su utilización en la elaboración de mazamorra*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/9018/Choquehuayta_Huamansayre_Deylith_Haidee.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Corzo, D. (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*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD. <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/21312/1/53060873.pdf>
- Cruz, G., Ribota, P., Ferrero, C., & Iturriaga, L. (2016). Physicochemical and rheological characterization of andean tuber starches: Potato (*solanum tuberosum* ssp. *andigenum*), oca (*oxalis tuberosa* molina) and papalisa (*ullucus tuberosus* caldas). *Biosynthesis Nutrition Biomedical*, 68(11), 1084-1094. <https://doi.org/10.1002/star.201600103>
- Dirección Regional de Agricultura Ancash [DRA Ancash]. (2013). *Cultivo de la Quinoa*. RR.PP de la DRAA. <https://agroancash.gob.pe/agro/wp-content/uploads/2016/06/libro-quinoa.pdf>
- Equipos y Laboratorio de Colombia. (2011). *Viscoelasticidad*. Equipos y laboratorio de Colombia. <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/ques-la-viscoelasticidad>
- Fairlie, A. (2016). *La quinoa en el Perú. Cadena exportadora y políticas de gestión ambiental*. (1° ed.) Pontificia Universidad Católica del Perú. http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/54092/Nro_6_Fairlie_quinoa_Per%C3%BA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fennema, O., & Tannenbaum, S. (2001). *Introducción a la química de los alimentos*. (3° ed.). Acribia. <https://sceqa.files.wordpress.com/2014/05/quc3admica-de-los-alimentos-fennema.pdf>
- Fernández, G. (2012, Mayo 28). *Extracción*. Química Orgánica. <http://www.quimicaorganica.net/extraccion.html>
- González, L., Parra, R., & Pimentel, D. (2012). Efecto de la temperatura y pH en la velocidad de precipitación y extracción de almidón de papa criolla. *Ciencia en Desarrollo*, 4(1), 141-149. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/482/483
- Granados, C., Guzman, L., Acevedo, D., Díaz, M., & Herrera, A. (2014). Propiedades funcionales del almidón de Sagu. *Botecnología en el Sector Agropecuario y*

- Agroindustrial*, 12(2), 90-96.
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a10.pdf>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2015). *El mercado y la producción de quinua en el Perú*. MGS Comercial Gráfica.
<http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/2652/1/BVE17038730e.pdf>
- Jan, K., Panesar, P., & Singh, S. (2017). Process standardization for isolation of quinoa starch and its characterization in comparison with other starches. *Food Measure*, 11, 1919-1927. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9574-6>
- Jan, R., Saxena, D., & Singh, S. (2016). Pasting, thermal, morphological, rheological and structural characteristics of Chenopodium (*Chenopodium album*) starch. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 267-274.
- Karwasra, B., Gill, B., & Kaur, M. (2017). Rheological and structural properties of starches from different Indian wheat cultivars and their relationships. *Food Properties*, 20(1), 1093-1106.
<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10942912.2017.1328439?needAccess=true>
- Li, G. & Zhu, F. (2018). Rheological properties in relation to molecular structure of quinoa starch. *Biological Macromolecules* 114 (15), 767-775.
- Lindeboom, N., Chang, P., Tyler, R., & Chibbar, R. (2005). Granule-bound Starch synthase I (GBSSI) in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its relationship to amylose content. *Cereal Chemistry*, 82(3), 246-250. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0246>
- Malca, O. (2000). *Seminario de Agro Negocios. Quinua*. Universidad del Pacífico.
- Manrique, G. (2010). *Polisacáridos*.
https://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/gmanrique/images/CarbohidratosII_Apunte.pdf
- Marín, J. (2016). *Química del almidón*. Academia.edu.
https://www.academia.edu/21607198/Qu%C3%ADmica_del_almid%C3%B3n
- Martínez, J. (2014). *Libro Electrónico de Bioquímica*. Universidad Autónoma de Aguascalientes. <http://libroelectronico.uaa.mx/index.html>
- Mendoza, G., Ricalde, R., & Hernández, P. (2017, Abril 28). *Estructura del Almidón*. Engormix: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/estructura-almid%C3%B3n-t40743.htm>
- Mira, J., & Sucoshañay, D. (2016). Caracterización de la harina de quinua (*Chenopodium Quinoa* Willd) Producida en la provincia de Chimborazo, Ecuador. *Perfiles*, 2(16), 27-31.
<http://ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/Articuloshtml/Perfiles16Art4/Perfiles16Art4.xhtml>

- Montoya, L., Martínez, L., & Peralta, J. (2005). Analisis de variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de quinua en Colombia. *Innovar*, 15 (25), 103-118. <http://www.scielo.org.co/pdf/inno/v15n25/v15n25a07.pdf>
- Nadia, L., Wirakartakusumah, A., Andarwulan, N., Purnomo, E., Koaze, H., & Noda, T. (2014). Characterization of physicochemical and functional Properties of starch from five yam (*Dioscorea alata*) cultivars in Indonesia. *Chemical Engineering and Applications*, 5(6), 489-496. <http://www.ijcea.org/papers/434-N0007.pdf>
- Nguyen, D., Jensen, C., & Kristensen, P. (1998). Experimental and modelling studies of the flow properties of maize and waxy maize starch pastes. *Chemical Engineering*, 70(2), 165-171. [https://doi.org/10.1016/S0923-0467\(98\)00081-5](https://doi.org/10.1016/S0923-0467(98)00081-5)
- Oliva, M., Duque, A., & García, L. (2018). Caracterización fisicoquímica del cereal y almidón de Quinoa *Chenopodium quinoa*. *Revista Ion*, 31(1), 25-29. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/8754/9125>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2013). *Catálogo de Variedades comerciales de Quinoa en el Perú*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. JB Grafic. <http://www.fao.org/3/a-as890s.pdf>
- Pacheco, E., & Techeira, N. (2009). Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo. *Interciencia*, 34(4), 280-285. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/280-c-TECHEIRA-6.pdf>
- Ramírez, J. (2006b). *Fundamentos de Reología de Alimentos*. JRS e-books. <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Fundamentos%20de%20Reologia.pdf>
- Ramírez, J. (2006a). Introducción a la Reología de los alimentos. *Reciteia*, 6(1), 1-45.
- Rojas, O., Briceño, M. & Avendaño, J. (2012). *Fundamentos de Reología* (3° ed.) Universidad de los Andes.
- Sierra y Selva Exportadora. (2012). Perfil Comercial de la Quinoa. *Sierra Exportadora*. http://quinua.pe/wp-content/uploads/2013/10/10_-PERFIL-COMERCIAL-DE-QUINUA-OK.pdf
- Soria, P. (2016). Perú como primer exportador del Quinoa a nivel mundial. *Quipukamayoc*, 4(7), 75-83. https://www.researchgate.net/publication/319660771_PERU_COMO_PRIMER_EXPORTADOR_DE_QUINUA_A_NIVEL_MUNDIAL
- Steffolani, M., Leon, A., & Pérez, G. (2013). Study of the physicochemical and functional characterization of quinoa and kañiwa starches. *Starch - Stärke*, 65(11-12), 976-983. <https://doi.org/10.1002/star.201200286>
- Tang, H., Watanabe, K., & Mitsunaga, T. (2002). Characterization of storage starches from quinoa, barley and adzuki seeds. *Carbohydrate Polymers*, 49(1), 13-22. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00292-2](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00292-2)

- Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Mujica, A., Ortiz, R., . . . Zanabria, E. (1979). *La quinua y la kaniwa*. Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo [CIID]. y Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas [IICA]. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/16254/CDRP21058079e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres, M. (2014). *Propiedades fisicoquímicas. Material de uso técnico*. Xunta de Galicia. https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/21_propiedades_fsico_qumicas.html
- Velásquez, F., & Velezmoro, C. (2018). Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 190-191. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v9n2/a03v9n2.pdf>
- Wright, K., Huber, K., Fairbanks, D., & Huber, C. (2002). Isolation and characterization of atriplex hortensis and sweet chenopodium quinoa starches. *Cereal Chemistry*, 79(5), 715-719. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.5.715>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. *Obtención de almidones nativos de quinua*

Figura 18

Remojo de los granos de quinua



Figura 19

Reducción de tamaño de los granos de quinua



Figura 20

Centrifugación de los almidones de quinua

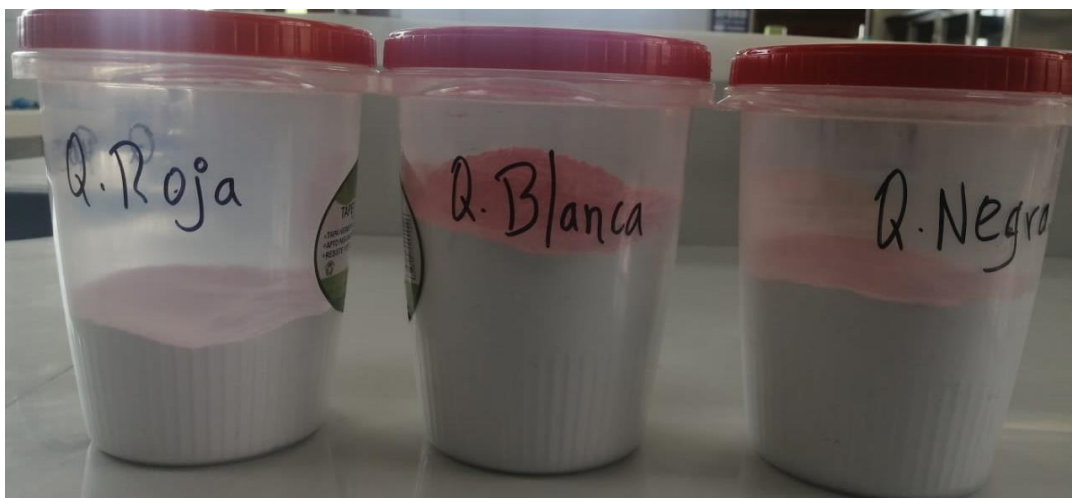
**Figura 21**

Secado del almidón de quinua



Figura 22

Almidones nativos de quinua



Anexo 2. Determinación del contenido de amilosa y amilopectina

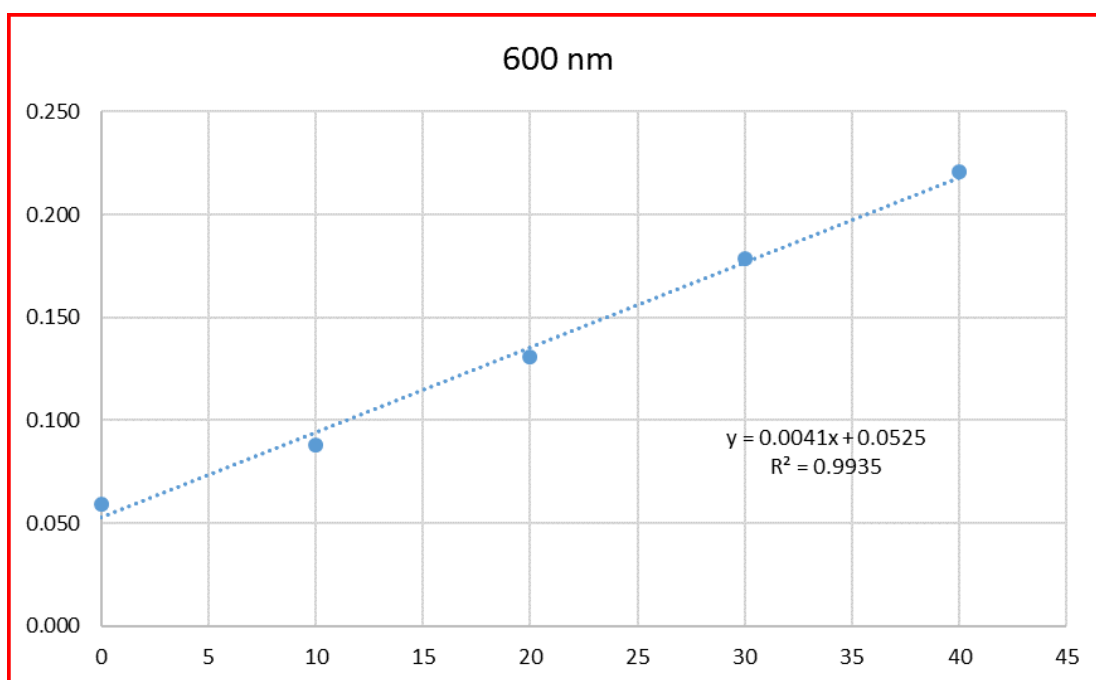
Tabla 6

Soluciones estándar de amilosa y amilopectina, para determinar la concentración de amilosa y amilopectina

%AMILOSA	0	10	20	30	40
R1	0.061	0.091	0.127	0.176	0.219
R2	0.057	0.087	0.131	0.181	0.222
R3	0.059	0.085	0.134	0.178	0.221
Promedio	0.059	0.088	0.131	0.178	0.221
$x=(y-0.0525)/0.0041$					

Figura 23

Curva de calibración de amilosa y amilopectina



Anexo 3. *Datos de las propiedades de flujo, viscoelasticidad y dependencia del tiempo de almidones nativos de tres variedades de quinua*

Tabla 7

Datos del comportamiento de flujo de los geles de almidones nativos de quinua blanca

REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2		REPETICIÓN 3	
Stress	Shear rate	Stress	Shear rate	Stress	Shear rate
Pa	1/s	Pa	1/s	Pa	1/s
1,6018	0,0124732	1,60884	0,0124551	1,82475	0,0124581
1,87758	0,0194731	1,99721	0,0194734	2,23753	0,0194735
2,01288	0,0302585	2,14108	0,0302595	2,38579	0,0302584
2,12887	0,0469395	2,26146	0,0469402	2,50405	0,0469402
2,23633	0,0728078	2,37504	0,0728079	2,61607	0,0728072
2,34778	0,11291	2,49281	0,112911	2,7349	0,112912
2,46974	0,175098	2,62255	0,175098	2,86424	0,175099
2,60089	0,271519	2,77013	0,271527	3,01151	0,271521
2,75832	0,42103	2,93362	0,42104	3,18758	0,421034
2,96829	0,652876	3,12701	0,652852	3,40662	0,652872
3,20049	1,01228	3,38253	1,01234	3,68825	1,01232
3,52688	1,56972	3,71624	1,56972	4,0437	1,5697
3,9684	2,43392	4,16686	2,43394	4,521	2,43395
4,59316	3,77396	4,8113	3,77398	5,18727	3,77399
5,4923	5,85181	5,71394	5,85188	6,14522	5,85188
6,80853	9,07364	7,04223	9,07381	7,5337	9,07377
8,70486	14,0693	8,96093	14,0696	9,53163	14,0696
11,2851	21,8156	11,6051	21,8161	12,2776	21,816
14,5763	33,8267	15,013	33,8275	15,8168	33,8273
18,5765	52,4508	19,1978	52,4521	20,1689	52,4522
23,3367	81,1542	24,2016	81,1559	25,3723	81,1543

Tabla 8*Datos del comportamiento de flujo de los geles de almidones nativos de quinua negra*

Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3	
Stress	Shear rate	Stress	Shear rate	Stress	Shear rate
Pa	1/s	Pa	1/s	Pa	1/s
1,47761	0,0124763	1,34742	0,0124774	1,27677	0,0124701
1,63245	0,0194754	1,51239	0,0194755	1,4269	0,0194748
1,68046	0,0302615	1,56933	0,0302599	1,46697	0,030259
1,74135	0,0469399	1,62991	0,046942	1,52523	0,0469436
1,83223	0,0728071	1,7099	0,0728084	1,60816	0,0728072
1,96732	0,11291	1,82404	0,112915	1,73124	0,112913
2,15264	0,175097	1,97989	0,1751	1,90758	0,175096
2,3949	0,271521	2,16756	0,27153	2,14534	0,271525
2,6416	0,421032	2,34066	0,421041	2,41312	0,421043
2,79765	0,652868	2,48389	0,652869	2,58758	0,652876
2,90594	1,01232	2,56706	1,01233	2,66303	1,01237
3,02512	1,56972	2,69378	1,56977	2,72691	1,56971
3,20741	2,43395	2,87275	2,43398	2,86234	2,43399
3,4825	3,77402	3,12971	3,7741	3,12455	3,77401
3,94273	5,85188	3,563	5,85196	3,57437	5,85196
4,73296	9,07383	4,28048	9,07397	4,29874	9,0738
5,96779	14,0696	5,40639	14,0698	5,43692	14,0697
7,81257	21,8161	7,09947	21,8164	7,14592	21,8159
10,4775	33,8274	9,54728	33,828	9,59103	33,8275
14,1437	52,4515	12,9174	52,453	12,9147	52,4518
18,8455	81,1541	17,2447	81,1569	17,1297	81,1558

Tabla 9*Datos del comportamiento de flujo de los geles de almidones nativos de quinua roja*

REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2		REPETICIÓN 3	
Stress	Shear rate	Stress	Shear rate	Stress	Shear rate
Pa	1/s	Pa	1/s	Pa	1/s
1,04061	0,0124772	1,03935	0,0124802	1,10684	0,0124621
1,1855	0,019474	1,18479	0,019474	1,31954	0,0194748
1,25567	0,0302585	1,24968	0,0302585	1,38903	0,0302589
1,3299	0,0469403	1,31697	0,0469396	1,46559	0,0469414
1,40994	0,0728049	1,38503	0,0728063	1,5418	0,0728074
1,4932	0,112913	1,45053	0,112913	1,61713	0,112915
1,57075	0,175103	1,50768	0,175095	1,69152	0,175104
1,64411	0,271518	1,55771	0,27153	1,7647	0,271535
1,7043	0,421057	1,61443	0,42104	1,83366	0,421062
1,76521	0,652892	1,68562	0,652876	1,90955	0,652897
1,85359	1,01226	1,75534	1,01233	2,00746	1,01229
1,98186	1,56972	1,87693	1,56968	2,15138	1,56974
2,17186	2,43398	2,03283	2,43391	2,35418	2,43404
2,43925	3,77401	2,26802	3,774	2,63746	3,77405
2,80871	5,85194	2,59157	5,85184	3,03406	5,85201
3,36343	9,07384	3,08722	9,07372	3,63861	9,07396
4,19211	14,0697	3,83659	14,0695	4,53266	14,0699
5,4178	21,8159	4,9546	21,8161	5,8419	21,8165
7,20395	33,8273	6,63186	33,8271	7,76915	33,8278
9,8061	52,4514	9,11927	52,4509	10,5755	52,4525
13,4914	81,1547	12,7139	81,154	14,5059	80,9817

Tabla 10

Datos del comportamiento viscoelástico de los geles de almidones nativos de quinua blanca

REPETICIÓN 1			REPETICIÓN 2			REPETICIÓN 3		
Storage modulus	Angular frequency	Loss modulus	Storage modulus	Angular frequency	Loss modulus	Storage modulus	Angular frequency	Loss modulus
Pa	rad/s	Pa	Pa	rad/s	Pa	Pa	rad/s	Pa
4,90199	0,0628319	1,77494	4,75881	0,0628319	1,76264	4,39462	0,0628319	1,75726
6,80291	0,0995816	1,40666	6,25848	0,0995816	1,35416	5,72677	0,0995816	1,35925
7,91615	0,157827	1,34527	7,02363	0,157827	1,24947	6,45932	0,157827	1,24796
8,60492	0,250138	1,36142	7,47527	0,250138	1,2479	6,93441	0,250138	1,22735
9,11146	0,396441	1,4058	7,81294	0,396441	1,28177	7,24088	0,396441	1,26122
9,48585	0,628319	1,48336	8,0778	0,628319	1,34797	7,48326	0,628319	1,33101
9,78764	0,995816	1,59616	8,29666	0,995816	1,44895	7,67751	0,995816	1,43828
10,0486	1,57827	1,75512	8,48009	1,57827	1,5974	7,82622	1,57827	1,596
10,2211	2,50139	2,01653	8,63387	2,50139	1,77278	7,93892	2,50139	1,78179
10,505	3,96441	2,26014	8,79133	3,96441	2,04731	8,11325	3,96441	2,11525
10,4801	6,28319	2,63971	8,75114	6,28319	2,44284	8,19321	6,28319	2,46932
9,91326	9,95809	3,19536	8,75185	9,95809	2,84292	8,37728	9,95809	2,86324
12,1978	15,7828	3,91096	10,7831	15,7828	3,595	10,2653	15,7828	3,63459
15,154	25,0137	4,27654	14,4394	25,0137	3,8824	13,8338	25,0137	3,93358
16,5997	39,6438	5,03022	19,0568	39,6438	4,47766	18,211	39,6438	4,62732
16,4389	62,8319	6,31423	27,1819	62,8319	5,73566	25,3038	62,8319	5,86382

Tabla 11

Datos del comportamiento viscoelástico de los geles de almidones nativos de quinua negra

REPETICIÓN 1			REPETICIÓN 2			REPETICIÓN 3		
Storage modulus	Angular frequency	Loss modulus	Storage modulus	Angular frequency	Loss modulus	Storage modulus	Angular frequency	Loss modulus
Pa	rad/s	Pa	Pa	rad/s	Pa	Pa	rad/s	Pa
6,20916	0,0628319	1,5021	5,91631	0,0628319	1,44149	7,64866	0,0628319	1,55604
8,82513	0,0995816	1,0941	8,42823	0,0995816	1,04283	10,1537	0,0995816	1,03056
10,3955	0,157827	0,986792	9,86913	0,157827	0,947171	11,5533	0,157827	0,907896
11,3158	0,250138	0,952078	10,8571	0,250138	0,912117	12,4371	0,250138	0,863796
12,0122	0,396441	0,944146	11,4909	0,396441	0,899934	13,021	0,396441	0,860887
12,5229	0,628319	0,948254	11,9676	0,628319	0,920473	13,4476	0,628319	0,873114
12,8889	0,995816	0,991144	12,314	0,995816	0,955079	13,748	0,995816	0,9264
13,1488	1,57827	1,11712	12,5956	1,57827	1,06274	13,9918	1,57827	1,01269
13,4357	2,50139	1,01528	12,857	2,50139	0,968449	14,2667	2,50139	0,691273
13,5934	3,96441	1,81203	13,1724	3,96441	1,83763	14,3288	3,96441	1,74431
14,077	6,28319	1,56856	13,5256	6,28319	1,47767	14,8742	6,28319	1,52335
13,6836	9,95809	2,59172	13,1962	9,95809	2,60862	14,8487	9,95809	2,30626
12,5806	15,7828	2,81205	11,7285	15,7828	2,67105	14,2883	15,7828	2,82806
13,954	25,0137	3,20436	14,8999	25,0137	3,0465	15,4781	25,0137	3,35694
14,177	39,6438	3,9206	20,0665	39,6438	3,61703	15,0944	39,6438	4,17813
11,2798	62,8319	4,92414	29,2764	62,8319	4,53934	12,547	62,8319	5,14869

Tabla 12*Datos del comportamiento viscoelástico de los geles de almidones nativos de quinua roja*

REPETICIÓN 1			REPETICIÓN 2		
Storage modulus	Angular frequency	Loss modulus	Storage modulus	Angular frequency	Loss modulus
Pa	rad/s	Pa	Pa	rad/s	Pa
7,51996	0,0628319	2,12719	7,84185	0,0628319	2,21658
10,024	0,0995816	1,57306	10,4937	0,0995816	1,67276
11,4752	0,157827	1,4189	12,144	0,157827	1,5252
12,409	0,250138	1,35152	13,2467	0,250138	1,45143
13,0965	0,396441	1,32801	14,0306	0,396441	1,42365
13,5586	0,628319	1,34456	14,5894	0,628319	1,43493
13,9431	0,995816	1,39548	14,9974	0,995816	1,49582
14,2542	1,57827	1,48904	15,3294	1,57827	1,59616
14,541	2,50139	1,64289	15,6178	2,50139	1,82287
14,6421	3,96441	2,2012	15,7527	3,96441	2,21342
15,2231	6,28319	2,207	16,2272	6,28319	2,38301
14,7754	9,95809	3,07589	15,6342	9,95809	3,11725
14,643	15,7828	3,54437	15,7561	15,7828	3,69858
18,69	25,0137	4,19117	18,9186	25,0137	4,36585
25,7891	39,6438	4,75021	22,3085	39,6438	5,07314
39,7	62,8319	5,97132	26,8212	62,8319	6,32157

Tabla 13*Datos de la dependencia de tiempo de los geles de almidones nativos de quinua blanca*

REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2	
Stress	Step time	Stress	Step time
Pa	s	Pa	s
38,6464	15,008	37,4111	15,004
38,52	30,008	37,314	30
38,4463	45	37,2209	44,996
38,385	60,004	37,1507	60,008
38,3337	75,012	37,0849	75
38,2885	90,008	37,0209	90,008
38,2482	105,004	36,9723	105,004
38,2125	120,004	36,9274	120
38,1821	135	36,8857	134,996
38,1537	150	36,8452	150,012
38,1115	165,008	36,8105	165,008
38,0793	180,008	36,7669	180,004
38,0477	195,004	36,7375	195,004
38,0241	210	36,7252	210,004
38,0008	225,012	36,6964	225,004
37,9708	240,012	36,643	240,016
37,9505	255,008	36,6193	255,016
37,9288	270	36,582	270,008
37,9021	285	36,5577	285,004
37,886	300,008	36,5346	300,008

Tabla 14*Datos de la dependencia de tiempo de los geles de almidones nativos de quinua negra*

REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2		REPETICIÓN 3	
Stress	Step time	Stress	Step time	Stress	Step time
Pa	s	Pa	s	Pa	s
29,0724	15,012	28,9991	15,016	30,7158	15,016
28,839	30,008	28,6772	30,012	30,4701	30,012
28,6227	45,004	28,4082	45,008	30,2378	45,012
28,435	60	28,1826	60,008	30,0465	60,016
28,2497	75,012	27,9947	75,016	29,8758	75,012
28,1325	90,008	27,8239	90,012	29,7341	90,012
28,0161	105,004	27,6956	105,008	29,6171	105,008
27,9159	120,016	27,5882	120,008	29,5243	120,012
27,8272	135,012	27,5043	135,012	29,4105	135,02
27,7589	150,004	27,4237	150,008	29,3262	150,016
27,6978	165,004	27,3599	165,008	29,2356	165,012
27,6292	180,016	27,2931	180,008	29,1677	180,008
27,5784	195,012	27,2441	195,02	29,1028	195,024
27,5286	210,008	27,1919	210,016	29,0479	210,016
27,4714	225,004	27,1536	225,012	28,9863	225,016
27,4409	240,016	27,1111	240,008	28,9372	240,012
27,4091	255,02	27,0554	255,008	28,8822	255,012
27,3704	270,008	27,0395	270,02	28,8378	270,008
27,3363	285,004	27,0093	285,016	28,791	285,02
27,3015	300,004	26,9752	300,012	28,745	300,016

Tabla 15*Datos de la dependencia de tiempo de los geles de almidones nativos de quinua roja*

REPETICIÓN 1		REPETICIÓN 2		REPETICIÓN 3	
Stress	Step time	Stress	Step time	Stress	Step time
Pa	s	Pa	s	Pa	s
25,2612	14,996	24,5032	15,012	23,9613	15,004
24,9519	29,992	24,2285	30,012	23,7089	30
24,7683	44,988	23,9979	45	23,5268	44,996
24,5892	59,996	23,8497	60,016	23,3898	59,996
24,4892	75	23,7328	75,012	23,3048	75,008
24,3979	89,996	23,6419	90,008	23,2426	90,004
24,3233	104,992	23,5834	105,004	23,1974	105
24,2818	120,012	23,5237	120,016	23,1655	120
24,1982	135	23,4771	135,012	23,1318	135,008
24,2082	149,996	23,4013	150,008	23,0971	150,004
24,1779	164,992	23,4214	165,016	23,0733	165
24,1269	180,004	23,4075	180,008	23,0534	180
24,1233	195,004	23,3965	195,008	23,0043	194,996
24,1166	210	23,387	210,016	22,994	210,008
24,1082	225	23,3564	225,016	23,0464	225,004
24,0942	239,996	23,3361	240,012	22,9751	240,012
24,082	255,004	23,3231	255,008	23,0188	255,008
24,0819	269,996	23,3091	270,02	23,0148	269,996
24,068	285,004	23,2982	285,012	23,0323	284,996
24,0697	300,004	23,2884	300,012	23,0026	300,008