



PROPIEDADES REOLÓGICAS DE UN PRODUCTO DE GALLETTERÍA A BASE DE HARINA DE QUINUA (*Chenopodium quinua*)

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF A QUINOA FLOUR BISCUIT PRODUCT (*Chenopodium quinua*)

***Púa Rosado Amparo Luz², Torregrosa Romero Carolina¹, Torres Barraza Elverling¹, Barreto Rodríguez Genisberto Enrique¹, Marsiglia Fuentes Ronald³**

¹Universidad del Atlántico, Facultad de Química y Farmacia Programa Farmacia. Grupo de Investigación Interdisciplinario en Seguridad Alimentaria y Nutricional– GRIINSAN –

²Universidad del Atlántico, Facultad de Nutrición y Dietética. Grupo de Investigación GRIINSAN

³Universidad de Cartagena. Grupo de investigación IFCRA. *Correo electrónico: amparopua@mail.uniatlantico.edu.co; Tel: 3156877546, Puerto Colombia, Atlántico. Colombia

Recibido: mayo 21 de 2022; Aceptado diciembre de 2022

RESUMEN

Actualmente el consumo de alimentos libre de gluten se ha incrementado, una explicación a este fenómeno ha sido el aumento considerable de personas con trastornos gastrointestinales como la enfermedad celíaca. En consecuencia, la industria alimentaria ha explorado diversos cereales y pseudocereales que les permita crear, innovar y comercializar productos a base de harina libre de gluten. En la presente investigación se realizaron análisis reológicos a una masa galleta a base de harina de quinoa a temperatura ambiente en un reómetro de fuerza controlada. Se analizó la viscosidad de la masa de la galleta mediante una curva de flujo y la zona viscoelástica lineal mediante los barridos de esfuerzo y barridos de frecuencia. Los resultados se contrastaron con una formulación control a base de harina de trigo, para medir si la presencia del gluten afectaba los

24

Púa Rosado Amparo Luz, Torregrosa Romero Carolina, Torres Barraza Elverling, Barreto Rodríguez Genisberto Enrique, Marsiglia Fuentes Ronald

comportamientos. Mediante la curva de flujo, se dedujo que la masa de la formulación de la galleta a base de harina de quinua presentó un comportamiento viscoso de un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico, independiente del tiempo; ambas con un coeficiente de determinación de 0.97 y 0,94, ajustándose al modelo matemático de Cross. Mediante los ensayos oscilatorios se determinó la zona viscoelástica lineal. Tanto para el barrido de esfuerzo como para el barrido de frecuencia, el módulo de almacenamiento (G') estuvo por encima del módulo de pérdida (G''). Se concluyó que la masa de la formulación a base de harina de quinua también presentó un comportamiento viscoelástico porque predominó la componente elástica sobre la viscosa.

Correspondencia Autor: * Púa Rosado Amparo Luz, *Correo Electrónico Autor: amparopua@mail.uniatlantico.edu.co

Palabras clave: gluten, pseudoplástico, quinua, viscoelástico, viscosidad.

ABSTRACT

Consumption of gluten-free food has grown nowadays. An explanation to this phenomenon is the significant increase in the number of persons with gastrointestinal disorders such as the coeliac disease. Consequently, the food industry has explored different cereals and pseudo-cereals that enable creating, innovate and market food products based on gluten-free flour. This research consists in a rheological analysis to a quinoa flour-based biscuit product at room temperature in a controlled-force rheometer. Viscosity of the biscuit dough was studied with a flow curve and the linear viscoelastic area after the effort scans and frequency scans. Results were compared to those from a control formula based on a wheat recipe in

order to determine whether the gluten presence affects the behaviors. From the flow curve, it was drawn that the quinoa flour-based biscuit dough had a viscous behavior like a pseudoplastic non-Newtonian fluid regardless of the time. Both cases were measured under a determination coefficient of 0.97 and 0.94, which matches the Cross mathematic model. The linear viscoelastic area was determined using the oscillatory testing. The storage modulus (G') was higher than the loss modulus (G'') for both the effort and frequency scans. It was concluded that the study formula based on a quinoa flour recipe also showed a viscoelastic behavior as the elastic component prevailed over the viscous one.

Key words: gluten, pseudoplastic, quinoa, viscoelastic, viscosity.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, se ha visto un incremento en la práctica de estilos de vida más saludable, en los que se incluye cambios en los hábitos alimenticios optando por alimentos ricos en compuestos bioactivos, ya que aparte de la satisfacción nutricional, los consumidores buscan alimentos que les brinden beneficios para la salud y bienestar (Pereira *et al.*, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior, el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) ha aumentado su demanda ya que a nivel global se sigue visibilizando y reconociendo sus cualidades nutricionales, las cuáles radican

en el balance ideal de los aminoácidos esenciales de su proteína; adicionalmente contiene una cantidad adecuada de carbohidratos, ácidos grasos, micronutrientes, antioxidantes, vitaminas y minerales que incrementan su valor nutracéutico (Pando *et al.*, 2016), (Rashid *et al.*, 2022).

La quinua también se le reconoce por su diversidad genética que le permite una alta resistencia a los estreses abióticos y adaptación a diferentes condiciones agro-ambiental trayendo consigo beneficios

culturales y socioeconómicos sobre el medio ambiente local; asimismo, tiene el potencial de reducir la dependencia de otros alimentos básicos como el trigo y el arroz. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013).

La quinua es originaria de la región andina de América del Sur y pertenece a la familia Amaranthaceae (Rashid *et al.*, 2022). El cultivo de quinua en Colombia fue abundante en el pasado, no obstante, en la actualidad las entidades públicas y privadas han incentivado su cultivo propiciando acciones encaminadas a reimplantar la quinua y conformar su cadena productiva pues, a pesar de sus beneficios y bondades, sus productos y subproductos están siendo subaprovechados por la falta de trabajo conjunto y coordinado entre productores, transformadores y comercializadores (Dueñas, 2014).

Aunque no pertenece a la familia de las gramíneas, se le reconoce como “pseudocereal”, ya que produce semillas que pueden ser molidas en harina y utilizadas como cultivo de cereal. A partir de la harina de quinua se producen una serie de productos pastelería y panadería, tales como pan, galletas, bizcochos, fideos, pasta y

tortas, entre otros. Otras formas de consumo incluyen: fermentación de la semilla para hacer cerveza; las plántulas germinadas (brotes de quinua) y hojas se pueden incorporar en ensaladas; e incluso la planta entera puede ser utilizada como una rica fuente nutritiva para la alimentación del ganado. (Vilcacundo *et al.*, 2017).

Aparte de ser un buen alimento para la población, en especial a consumidores de grupos de alto riesgo como niños y ancianos, intolerantes a la lactosa y personas con anemia, obesidad y dislipidemia, la quinua es ideal para las personas que padecen la enfermedad celíaca y diabetes, puesto que sus granos son libres de gluten y de bajo índice glucémico (Rashid *et al.*, 2022). Cabe resaltar que el gluten no es indispensable para el ser humano; este se compone de una mezcla de proteínas de bajo valor nutricional y biológico, con baja calidad debido a deficiencias en aminoácidos esenciales (Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2013), por lo que desde el punto de vista de la nutrición su exclusión de la alimentación no representa ningún problema (Lamacchia *et al.*, 2014). Es por eso que la quinua es una excelente alternativa para no consumir aquellos productos que se procesan con harinas

como la del trigo, muy utilizada en los alimentos y que afectan especialmente a los grupos de alto riesgo mencionados anteriormente (Cerezal *et al.*, 2011), (Vilcacundo *et al.*, 2017).

Por otra parte, hay que aclarar que la formulación de productos de panadería sin gluten presenta un desafío formidable para la industria de alimentos. Como el gluten de trigo contribuye a la formación de una fuerte red de proteínas, que confiere viscoelasticidad a la masa y permite que la harina de trigo se procese en una amplia gama de productos, la preparación de productos libres de gluten a base de cereales es de alguna manera un proceso difícil. La característica distintiva que hace que el trigo sea único es, precisamente, la visco-elasticidad del gluten. Cuando el grano se muele y se mezcla con agua, las proteínas de almacenamiento forman una masa, capaz de retener las burbujas de gas de CO₂. Estas propiedades hacen que el trigo sea adecuado para la preparación de una gran diversidad de productos alimenticios, incluidos panes, fideos, pasta y galletas, y ha sido objeto de una gran atención por parte de la industria alimentaria. Sin embargo, el alto valor tecnológico hace que el gluten sea casi indispensable en productos horneados, y su

reemplazo, como proteína de construcción de estructuras, presenta un gran desafío para la industria, sin embargo, se han realizado muchos avances en los procesos de preparación de productos sin gluten, utilizando almidones, hidrocoloides, gomas e ingredientes novedosos (Zannini *et al.*, 2012). La eliminación del gluten, especialmente en las formulaciones de pan, origina masas líquidas que generan panes con textura disgregable y otros defectos de calidad asociados al color y sabor (Molina, 2013).

La eliminación del gluten empeora la estructura de la masa para desarrollarse adecuadamente durante el amasado y la cocción. Por lo tanto, se usan comúnmente sustancias que inician las propiedades viscoelásticas del gluten. En los últimos años, los investigadores han estado trabajando mucho más en el desarrollo de productos libres de gluten que incluyen también productos lácteos, proteínas sin gluten, prebióticos y su combinación para reemplazar el gluten y mejorar calidad de los productos (Sarabhai y Prabhasankar, 2015).

Muchas veces, la harina de quinua ha sido utilizada para enriquecer harinas de panificación en la elaboración de pan

(aunque carece de gluten puede ser panificable mezclándolo con harina de trigo), galletas, pastas, barritas, batidos, pasteles, spaghetis, etc., (Lascano, 2010), pero no es común encontrarlo como ingrediente principal, es decir, se emplea la harina de quinua como acompañante de la harina de trigo u otras harinas encontrándose que el empleo de esta harina siempre se consigue en una proporción menor. En esta investigación se trabajó con la harina de

quinua como materia prima principal en la elaboración de un producto de galletería. El objetivo del estudio fue determinar las propiedades reológicas de una masa para galletas formulada a partir de harina de quinua tales como la viscoelasticidad, fuerza de corte, deformación de la masa, y su viabilidad en la industria alimentaria para la elaboración y comercialización de este tipo de productos nutritivos en el mercado.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Selección y adquisición de las materias primas

La harina de quinua de marca comercial “Karavansay”, se adquirió en la tienda naturista “El Huerto”, en la ciudad de Barranquilla. El ácido graso Omega 3 que se empleó fue de origen vegetal, adquirido por la Comercializadora y Distribuidora Disandalo S.A.S, en la ciudad de Bogotá. Los demás ingredientes tales como: harina de trigo de marca “Haz de Oro”; leche entera en polvo, marca “O”; polvo para hornear; azúcar de marca “Manuelita”; sal común marca “Refisal”; margarina marca “Gustosita”, esencia de vainilla marca “Raspin” y el agua embotellada marca “Manantial”, estuvieron seleccionados de acuerdo a su composición

nutricional y se adquirieron en un almacén de cadena en Soledad, Atlántico. Para la selección de la marca de la leche entera en polvo, la harina de trigo y la margarina se tuvo en cuenta que estos no fueran alimentos fortificados ni enriquecidos.

2. Elaboración de la galleta a base de harina de quinua

Se siguió una formulación previamente establecida (Púa *et al.*, 2014); la tabla 1 presenta las cantidades que se utilizaron en gramos y en porcentaje por unidad de producto (%). Se elaboró un lote del producto de acuerdo al procedimiento preestablecido, se adicionó la grasa fundida con la finalidad de mejorar la consistencia y compactación de las materias primas.

Tabla 1. Formulación para la elaboración de la galleta a base de harina de quinua enriquecida con aceites de omega

Ingrediente	Cantidad (g)	Cantidad (%)
Harina de Quinua	22,08	49,07
Omega 3	1,09	2,42
Leche entera en polvo	5,65	12,56
Polvo para hornear	0,106	0,24
Margarina	7,96	17,69
Azúcar	7,96	17,69
Sal común	0,106	0,24
Agua	c.s.p 45 g	0,04

Fuente: ^[10] Púa, A., Barreto, G.; Pérez, M.

La formulación descrita en la tabla 1 fue la misma que se tuvo en cuenta para la elaboración de la masa de galleta control a base de harina de trigo.

3. Caracterización reológica

Para el análisis de las propiedades reológicas se utilizó un reómetro de fuerza controlada Thermo Scientific Haake Mars 60, se utilizó un plato de tipo rugoso.

Para todos los ensayos, se manejó una misma temperatura de 25°C y una apertura del plato (GAP) que inicialmente fue de 1 mm, sin embargo, debido a que la muestra

presentó una textura dura, se usó un GAP de 2 mm para todos los análisis. Los ensayos reológicos incluyeron curva de flujo para ver los cambios de viscosidad que se midió en un rango de velocidades de corte entre 0.001 y 1000 s⁻¹. Las muestras se midieron sin cizalla previa y se dejaron en reposo antes de iniciar el análisis por un tiempo de 600 s para permitir su relajación, la temperatura de las muestras se mantuvo constante a 25 ± 0.1 °C, utilizando un sistema Peltier para el control de temperatura.

Los ensayos oscilatorios (barrido de esfuerzo y barrido de frecuencia), el barrido de esfuerzo se midió en Pascales, el cual fue de 0,001 a 10.000 Pa con el fin de identificar la región viscoelástica lineal y asegurar que no se presenten cambios estructurales. Con base en este resultado, se determinó un nivel de esfuerzo dentro de esta región lineal; posteriormente, se le realizó el barrido de frecuencias, entre 0,1 y 100 rad/s. Luego de construir las curvas, se ajustaron a diferentes modelos y el que mejor representó el conjunto de datos experimentales fue el modelo matemático de Cross, el cual describe las viscosidades asintóticas de flujo pseudoplástico a tasas de corte cero e infinitas. El modelo matemático de Cross se representa mediante la siguiente ecuación:

Donde,

$$y = A_2 + \frac{A_1 - A_2}{1 + (tx)^m}$$

A1 = viscosidad de cizallamiento cero

A2= viscosidad de cizallamiento infinita

t= tiempo constante

m= pendiente (power index)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayos reológicos

Curva de flujo

Con los datos experimentales obtenidos por el reómetro, se construyeron las curvas de flujo que corresponden a la figura 1. En ambas curvas se observa que a medida que se aplica mayor esfuerzo, la viscosidad (pendiente de la curva) disminuye, demostrando así que el comportamiento de la masa de la galleta a base de harina de quinua es un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico. Las propiedades de adelgazamiento de la masa por cizallamiento de fue favorable ya que permite una fácil extrusión bajo la tensión aplicada, donde también se pudo observar que la masa presentó una recuperación para conservar su forma cuando se deposita (Lille et al., 2018).

Análisis estadístico de los datos

Los datos proporcionados en las diferentes pruebas por el software del reómetro, Rheowin Job Manager fueron graficados mediante el programa OriginLab.

En la primera curva de fluidez se obtuvo un R2= 0,94527 y en la segunda curva un R2= 0,97189. Cabe resaltar que el modelo matemático de Cross se utiliza para representar el comportamiento pseudoplástico de los materiales.

Este comportamiento que relaciona la curva de flujo con los cambios de viscosidad aparente respecto a la velocidad de corte se comparan con la investigación desarrollada por Pulatsu *et al.*, (2022), los cuales midieron la viscosidad de corte en una masa de galleta para la impresión 3D; que condiciona una preparación con propiedades reológicas específicas para poder hacer la impresión, teniendo con un comportamiento similar a las reportadas en este estudio, donde la viscosidad aparente disminuyó a medida que se intensifica la velocidad de corte o cizallamiento, lo que asegura la pseudoplásticidad de la masa para galletas;

también se utilizó el modelo de ley de potencia donde los parámetros, n y K , fueron $0,09 \pm 0,02$ y $694,05 \pm 37,55$ Pa-s, respectivamente similares a los obtenidos con el modelo de Cross en la galleta de quinua.

La ecuación ajustada curva, presentó un valor de n inferior a 1 que confirma el comportamiento de adelgazamiento por cizallamiento de la muestra; estos resultados se comparan también con los obtenidos por Ortega et al., (2008), en el cual se estudia la fluidez de las suspensiones de almidón de quinua, arroz y maíz para formar una masa de panificación, en el cual las formulaciones realizadas (diseño factorial: 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25, 70:30, 65:35 y 60:40) tuvieron igualmente un comportamiento de un fluido no newtoniano tipo pseudoplástico que presenta valores de viscosidad más altos cuando se incorpora un mayor porcentaje de almidón.

El comportamiento anterior puede explicarse por la ruptura de la estructura reticular de las moléculas de polisacáridos durante el cizallamiento (Bhandari et al., 2002; Guleria y Yadav, 2022), ya que en un sistema reticular la velocidad de ruptura de las interacciones moleculares existentes es

mayor que la velocidad de reformado de las mismas con velocidad de corte creciente. El resultado, es una menor resistencia intermolecular al flujo y por tanto una menor viscosidad (Díaz Ocampo *et al.*, 2012).

Es importante destacar que aunque en la harina de quinua se encuentra presente el almidón, la formulación que se analizó contenía en su matriz otros ingredientes que interactuaron con la harina de quinua y que por lo tanto, estos influyeron en la diferencia del tipo de viscosidad, entre esos ingredientes se encuentran el Omega 3,6 y 9 que según lo reportado en la investigación de Escobar et al., (2008), los aceites de pescado y de soja (que son ricos en omega) exhibieron un comportamiento pseudoplástico a temperaturas en rangos de 10°C a 30°C . También. se afirma que, aunque los aceites son normalmente newtonianos, a altas velocidades de deformación presentan un comportamiento diferente, que es el pseudoplástico. Esto puede ser debido al alineamiento de las celdas unitarias a alto esfuerzo cortante, los cuales pueden causar una disminución en la fricción interna (Escobar, 2008).

La mantequilla, uno de los ingredientes mayoritarios en la formulación, contribuyó a

que se exhibiera un comportamiento pseudoplástico ya que Aguilera y Stanley (1999) afirman que esta es una emulsión w/o, consistente y pseudoplástica.

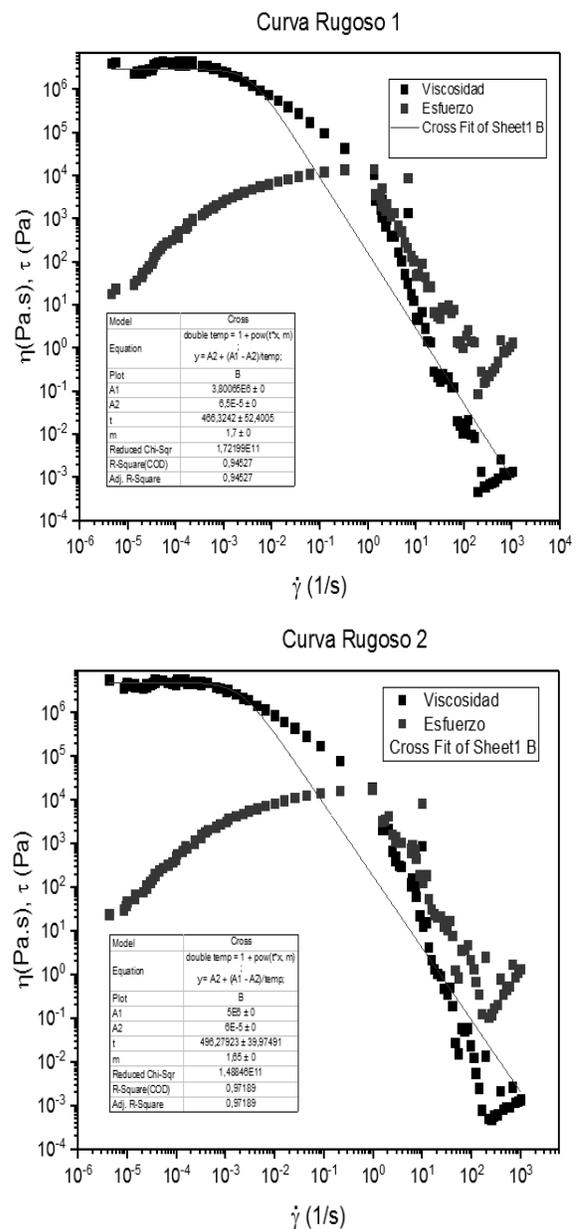


Figura 1. Curvas de flujo de la masa de la galleta a base de harina de quinua

Ensayos oscilatorios

1. Barrido de esfuerzo

figura 2, muestra el barrido de esfuerzo para encontrar la zona viscoelástica lineal de las muestras de masa para galletas. Se puede observar que cuando el esfuerzo aplicado es mayor de 0,316 Pa, el módulo elástico (G') es mayor que el módulo viscoso (G'').

En los rangos 0,6305 - 315,6 Pa de esfuerzo aplicado, se aprecia que ambos módulos y la viscosidad compleja se mantienen constantes. Según lo reportado por Ortega (2008), en este rango, no se sufren grandes cambios y se presenta comportamientos constantes frente a las variaciones de deformación, por lo tanto, en dicho rango no existen cambios estructurales.

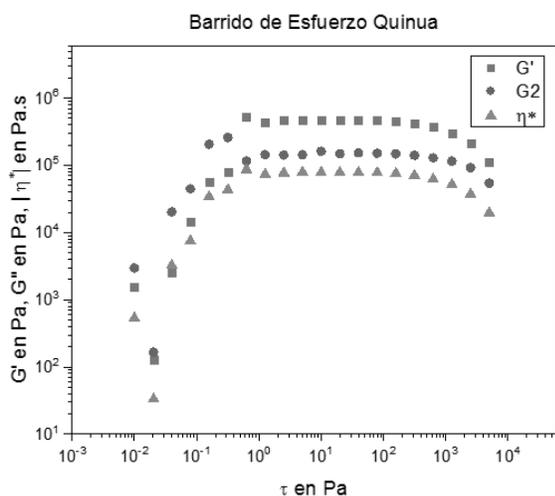
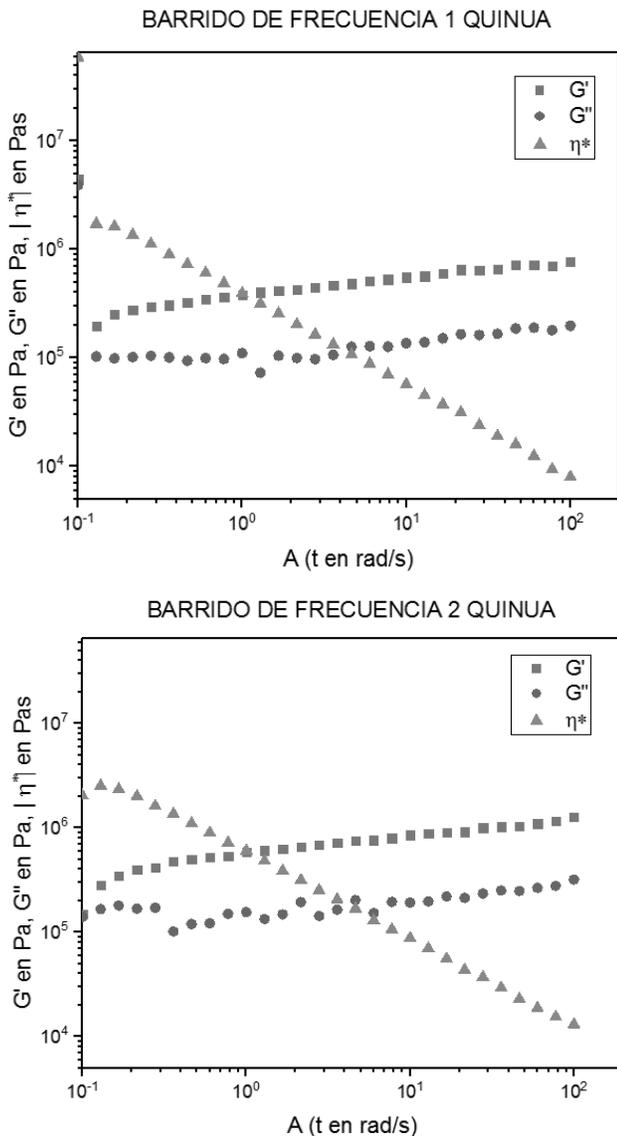


Figura 2. Barrido de esfuerzo de la masa de la galleta a base de harina de quinua.

2. Barrido de frecuencia

El barrido de frecuencia muestra cómo cambia el comportamiento viscoso y elástico del material con la tasa de aplicación de tensión o tensión esfuerzo, mientras que la amplitud de la señal se mantiene constante (Azón, 2016). La figura 3 muestra el rango viscoelástico lineal de 0,1 a 100 radianes/segundo (rad/s) para la masa de galleta, el cual fue de 10^5 – 10^8 Pa para ambas formulaciones. De acuerdo con los espectros mecánicos de la masa de galletas analizadas, el módulo de almacenamiento G' fue mayor que el módulo de pérdida G'' ($\tan \delta < 1$) en el rango de frecuencia examinado, lo que indica un comportamiento elástico sólido y estructurado, que indica una conservación de sus propiedades mecánicas durante el ensayo y permite un adecuado manejo de la masa durante la manipulación. Según estudios realizados previamente, la adición de grasa (Gujral *et al.*, 2003) y la reducción del nivel de agua tanto en masa libre de gluten (Lazaridou *et al.*, 2007) como en una masa de galleta con adición de proteína de suero concentrado (Sarabhai y Prabhasankar, 2015) en el cual la masa condujo a un aumento en el módulo elástico en el espectro mecánico observado del barrido.

Figura 3. Barridos de Frecuencia de la masa de la galleta a base de harina de quinua.



También se observó que la viscosidad compleja (η^*) disminuye a medida que la frecuencia va aumentando, ratificando así un comportamiento pseudoplástico ya que este se caracteriza por una disminución de la

viscosidad a medida que el esfuerzo aumenta.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Ortega (2008), los cuales indicaron que G' siempre se mantuvo encima que G'' a diferentes temperaturas y en ambas concentraciones de la suspensión del almidón de quinua a 20 y 40%. Ahmed *et al.*, (2018) analizaron las propiedades reológicas de una masa de harina de quinua y se concluyó mediante el barrido de frecuencia que G' siempre fue mayor que G'' en los diferentes tipos de mallas utilizados para la medición de la influencia del tamaño de partícula y temperatura; aunque cabe resaltar que no se tuvo en cuenta estos parámetros, el presente estudio indicó que entre más grande fuese el tamaño de partícula, mayor era la viscosidad y esto debido a que hay mayor cantidad de almidón presente. Sin embargo, a medida que el tamaño de partícula fuese menor, la viscosidad caía significativamente puesto que era menor la cantidad de almidón, pero aumentaba el contenido de lípidos y este se comportaba como un lubricante para la masa, aumentando así su rigidez. Por otra parte, la apertura o distancia de entre los módulos (G') y (G''), para las curvas que se muestran de masa para galleta indica

también que el comportamiento reológico en cuanto a las características dinámicas, están relacionados con la estructura de un gel débil o una estructura similar a la de un sólido. También se encontró que las propiedades viscoelásticas están directamente

relacionadas con el contenido de agua en la mezcla y la porción de grasa que contiene lo cual favorece el hinchamiento y formación de gránulos de almidón más grandes y por ende valores elásticos mayores (Mao *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

El uso de harina de quinua en la formulación de una masa para galleta, los ensayos reológicos mostraron para las curvas de flujo, un comportamiento del tipo pseudoplástico con adelgazamiento o pérdida de viscosidad cuando la velocidad de deformación va aumentando.

En el barrido de esfuerzo se pudo observar también que la zona viscoelástica lineal se encontraba entre los 0,6305 - 315,6 Pa de esfuerzo aplicado, en el cual no ocurren cambios estructurales de la masa.

Con base al barrido de frecuencia, se observó que el módulo de almacenamiento (G') siempre estuvo por encima al módulo de

pérdida (G'') en el espectro mecánico estudiado, donde predominó el módulo elástico sobre el viscoso.

En general, la masa para galletas a base de quinua puede ser utilizada en la industria de panificación para este producto de consumo cotidiano, ya que tiene comportamientos similares a los observados en las galletas de uso tradicional en la industria alimentaria en cuanto a la fuerza de la masa para mantener sus características mecanizadas y estructurales en un amplio rango de aplicación de fuerzas externas lo que conduce a una resistencia a la deformación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilera, JM; Stanley, DW. Microstructural Principles of Food Processing and Engineering. (1999). Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=nle>

JiL_dLeQC&printsec=frontcover&dq=Microstructural+Principles+of+Food+Processing+and+Engineering&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi0k7WhqZHdAhXEtvkKHZAaNA0cQ6



AEIKjAA#v=onepage&q=Microstructural%
20Principles%20of%20Food%20Processin
g%20and%20Engineering&f=false

Ahmed, J. Thomas, L., Ali, Y. (2019).
Functional rheological, microstructural and
antioxidant properties of quinoa flour in
dispersions as influenced by particle size.
Food Research International. 116:3012-
311.

Azón, C. G. (2016). Book reviews :
Rheological Methods in Food Process
Engineering. James F. Steffe. Second
edition published by Freeman Press, 2807
Still Valley Dr., East Lansing, MI 48823.
ISBN 0 9632936 1 4.
Http://Dx.Doi.Org/10.1177/1082013297003
00108, 3(1), 61–62.
<https://doi.org/10.1177/108201329700300108>

Bhandari, P. N., Singhal, R. S., & Kale, D. D.
(2002). Effect of succinylation on the
rheological profile of starch pastes.
Carbohydrate Polymers, 47(4), 365–371.
[https://doi.org/10.1016/S0144-
8617\(01\)00215-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00215-6)

Cerezal Mezquita, P., Urtuvia Gatica, V.,
Ramírez Quintanilla, V., & Arcos Zavala, R.
(2011). Desarrollo de producto sobre la

base de harinas de cereales y leguminosa
para niños celíacos entre 6 y 24 meses; II:
Propiedades de las mezclas. Nutrición
Hospitalaria. 26(1):161-169.

Díaz-Ocampo, R., García-Zapateiro, L.,
Franco-Gómez J. and Vallejo-Torres, C.
(2012). Caracterización bromatológica,
físicoquímica microbiológica y reológica de
la pulpa de borjón (borjoa patinoi cuatrec).
Ciencia y Tecnología. 5(1):17-24.

Dueñas Quintero, D. M. (2014). Vigilancia
competitiva de la quinua: potencialidad
para el departamento de Boyacá. Suma de
Negocios, 5(12), 85-95. [https://doi-
org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/S2215-
910X\(14\)70030-8](https://doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/S2215-910X(14)70030-8)

Escobar Harvez, FE. Comportamiento
reológico de algunos lípidos en estado de
pureza técnica y de sus mezclas.
Universidad Austral de Chile (2008).
Recuperado de:
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/fae.74c/doc/fae.74c.pdf> .

Food and Agriculture Organization of the
United Nations Rome. Dietary protein
quality evaluation in human nutrition.
(2013). Recuperado de:
<http://www.fao.org/ag/humannutrition/3597>

- 8-
02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf
- Gujral, H. S., Guardiola, I., Carbonell, J. V., & Rosell, C. M. (2003). Effect of Cyclodextrinase on Dough Rheology and Bread Quality from Rice Flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(13), 3814–3818.
<https://doi.org/10.1021/JF034112W>
- Guleria, P., & Yadav, B. S. (2022). Effect of chemical treatments on the functional, morphological and rheological properties of starch isolated from pigeon pea (*Cajanus cajan*). *Current Research in Food Science*, 5, 1750–1759.
<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.001>
- Henaos Osorio, S; Aristizábal Galvis, J. (2009). Influencia de la variedad de yuca y nivel de sustitución de harinas compuestas sobre el comportamiento reológico en panificación. *Ingeniería e Investigación*. 29(1): 39-46.
- Lamacchia, C; Aldo Di, L; Camarca, A; Picascia, S; Gianfrani, C. Cereal-Based Gluten-Free Food: How to Reconcile Nutritional and Technological Properties of Wheat Proteins with Safety for Celiac Disease Patients. *Nutrients*. (2014). 6(2):575-590.
- Lascano, A. Estudio reológico de mezclas de harinas de cereales: cebada (*Hordeum vulgare*), maíz (*Zea mays*), quinua (*Chenopodium quinoa*), trigo (*Triticum vulgare*) y tubérculo: papa (*Solanum tuberosum*) nacionales con trigo (*Triticum vulgare*) importado para orientar su uso en la elaboración de pan y pastas Alimenticias. Universidad Central de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería de alimentos. (2010).
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1033–1047.
<https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2006.03.032>
- Lille, M., Nurmela, A., Nordlund, E., Metsä-Kortelainen, S., & Sozer, N. (2018). Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 20–27.
<https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.04.034>

- Mao, S., Kaur, L., Mu, T.-H., & Singh, J. (2022). Development and Characterisation of Plant and Dairy-Based High Protein Chinese Steamed Breads (mantou): Physico-chemical and textural characteristics. *Food Hydrocolloids for Health*, 100102. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100102>
- Molina-Rosell, C. Capítulo 22: Alimentos sin gluten derivados de cereales. Rodrigo L y Peña AS, editores. *Enfermedad celíaca y sensibilidad al gluten no celíaca*. Barcelona, España: OmniaScience. (2013).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Quinoa*. Recuperado de: <https://www.fao.org/quinoa/es/>
- Ortega, G., Hernández, D., Acosta, Z. (2013). Desarrollo y caracterización de un producto libre de gluten a base de harinas de maíz, arroz y quinua. *Alimentos Hoy*. 22(29):47-60.
- Ortega, M. Propiedades viscoelásticas y reológicas estacionarias de suspensiones de almidón nativo de quinua. Universidad de Chile. 2008. Recuperado de: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/105246>.
- Pando, L., & Aguilar, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura e Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de: <https://www.bivica.org/files/quinua-cultivo-guia.pdf>
- Pereira, E., Encina-Zelada, C., Barros, L., Gonzales-Barron, U., Cadavez, V., & Ferreira, I. C. (2019). Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa) grains: A good alternative to nutritious food. *Food chemistry*, 280, 110-114. <https://doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/j.foodchem.2018.12.068>
- Púa, AL; Barreto, GE; Pérez, MA. (2016). Elaboración y evaluación de una galleta a base de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*). *Agronomía Colombiana*. 34(1):944-946.
- Pulatsu, E., Su, J. W., Kenderes, S. M., Lin, J., Vardhanabhuti, B., & Lin, M. (2022). Restructuring cookie dough with 3D printing: Relationships between the mechanical properties, baking conditions, and structural changes. *Journal of Food Engineering*, 319.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110911>

Rashid, N., Wahid, A., Ibrar, D., Irshad, S., Hasnain, Z., Al-Hashimi, A., ... & Khan, S. (2022). La aplicación de promotores de crecimiento naturales y sintéticos mejora la productividad y la calidad del cultivo de quinua a través de actividades fotosintéticas y antioxidantes mejoradas. *Fisiología y bioquímica vegetal*, 182, 1-10. [https://doi-org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/j.plaphy.2022.04.012](https://doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/j.plaphy.2022.04.012)

Restrepo, L. A. M. Análisis de variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de quinua en Colombia. (2005). *Revista Innovar Journal Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*. 5(25):103-119.

Sarabhai, S., & Prabhasankar, P. (2015). Influence of whey protein concentrate and potato starch on rheological properties and baking performance of Indian water chestnut flour based gluten free cookie dough. *LWT*, 63(2), 1301–1308. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.03.111>

Tirado, D; Acevedo, D; Torres, R. Caracterización reológica de una espuma a

base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo. (2015). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 18(2): 465-473.

Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 14, 1-6. <https://doi-org.ezproxy.unal.edu.co/10.1016/j.cofs.2016.11.007>

Yang, H., Irudayaraj, J., Otgonchimeg, S., & Walsh, M. (2004). Rheological study of starch and dairy ingredient-based food systems. *Food Chemistry*, 86(4), 571–578. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2003.10.004>

Zannini, E., Jones, J. M., Renzetti, S., & Arendt, E. K. (2012). Functional replacements for gluten. *Annual review of food science and technology*, 3, 227-245. <http://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-food-022811-101203>