

EVALUACIÓN DE LA TEXTURA DE LA AREPA DE MAÍZ DURANTE EL  
ALMACENAMIENTO EN CONDICIONES DE CONGELACIÓN EN LA PLANTA PILOTO  
DE LA GRANJA INTEGRAL ALEJANDRÍA EN EL MUNICIPIO DE EL TAMBO CAUCA



PAOLA ANDREA ALEGRIA VARGAS  
LHEIDY KATHERINE VEGA QUINTERO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
POPAYÁN  
2022

EVALUACIÓN DE TEXTURA DE LA AREPA DE MAÍZ DURANTE EL  
ALMACENAMIENTO EN CONDICIONES DE CONGELACIÓN EN LA PLANTA PILOTO  
DE LA GRANJA INTEGRAL ALEJANDRÍA EN EL MUNICIPIO DEL TAMBO CAUCA

PAOLA ANDREA ALEGRIA VARGAS  
LHEIDY KATHERINE VEGA QUINTERO

Trabajo de grado en la modalidad de investigación para optar por el título de  
Ingeniera Agroindustrial

Directores

Ph. D. DIEGO FERNANDO ROA ACOSTA  
Ph. D. JHON EDINSON NIETO CALVACHE

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
POPAYÁN  
2022

Nota de aceptación

Los directores y los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por sus autoras y lo encuentran satisfactorio.

---

DIEGO FERNANDO ROA ACOSTA. Ph. D.  
Director

---

JHON EDINSON NIETO CALVACHE. Ph. D.  
Director

---

JORGE LUIS SANCHEZ ORTEGA. M. Sc  
Presidente del Jurado

---

JOSE FERNANDO SOLANILLA. Ph. D  
Jurado

Popayán, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 2022

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado principalmente a Dios, por ser mi guía y fortaleza en este camino.

A mi madre Erlen Quintero Cuellar, por ser incondicional en todo este proceso, por ser el motor de mi vida, y quien me convirtió en la gran mujer que soy hoy

A mi abuela Eufemia Cuellar Leguizamo, por ser mi consejera en cada momento de duda.

A todas las personas y amigos que conocí en el camino y que se convirtieron en un segundo hogar estando lejos del mío, gracias por su apoyo, paciencia y maravillosa compañía.

Lheidy Katherine Vega Quintero

A Dios, por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta e iluminar mi camino en los momentos de oscuridad.

A mis padres Luis Fernando Alegría y Martha Lucía Vargas, que siempre me han brindado su apoyo incondicional y su amor infinito, ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

A mi hermana Olga Lucía Alegría, por estar siempre presente en este camino con su apoyo y su cariño.

Y, por supuesto, a ustedes, mi esposo Cristian Ruiz y mi hijo Juan José Ruiz Alegría, por todo el amor que me dan y la inspiración que me generan para convertirme en la mujer que quiero ser.

Paola Andrea Alegría Vargas

## **AGRADECIMIENTOS**

Damos gracias a Dios por guiar nuestro camino, y ayudarnos a culminar con nuestro objetivo propuesto. Gracias infinitas a él. Gracias a nuestra familia, soporte y pilar central de nuestras vidas, agradecimientos infinitos por tantos esfuerzos durante el transcurso de este proceso.

A nuestros directores Diego Fernando Roa Acosta y Jhon Edinson Nieto Calvache por su sabiduría, conocimiento, apoyo y paciencia, que se refleja no solo en la culminación de este trabajo, sino que también en nuestra formación personal y profesional.

Agradecemos a todos los docentes y amigos que, con su conocimiento y apoyo, nos motivaron a desarrollarnos como personas y profesionales orgullosas de pertenecer a la familia Unicaucana.

Agradecemos a la Universidad del Cauca y Facultad de Ciencias Agrarias por todo el apoyo brindado a lo largo de nuestra carrera, especialmente en este tiempo de situaciones adversas.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO REFERENCIAL	17
1.1 LOCALIZACIÓN	17
1.2 MARCO TEÓRICO	17
1.2.1 Arepa	17
1.2.2 Maíz ( <i>Zea Mays</i> L)	17
1.2.3 Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd)	18
1.2.4 Ajonjolí ( <i>Sesamum indicum</i> )	18
1.2.5 Queso	18
1.2.6 Queso Campesino	19
1.2.7 Congelación	19
1.2.8 Test Creep and Recovery	20
1.2.9 Ensayo de textura	21
1.3 ESTADO DE ARTE	21
2. METODOLOGÍA	23
2.1 MATERIA PRIMA	23
2.2 ANÁLISIS PROXIMAL	23
2.2.1 Contenido proteico	23
2.1.2 Extracto etéreo	24
2.2.3 Contenido de Fibra	24

	pág.
2.2.4 Contenido de Ceniza	25
2.2.5 Contenido de Carbohidratos	25
2.2.6 Contenido de Humedad	25
2.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	25
2.3.1 Identificación de Mesófilos	26
2.3.2 Identificación de coliformes totales NTC 4458	26
2.3.3 Identificación de <i>Staphylococcus aureus</i> , NTC 4779	27
2.3.4 Identificación de Hongo y levaduras NTC 5698-2	27
2.3.5 Identificación de <i>Bacillus cereus</i> NTC 4679	27
2.3.6 Identificación de Salmonella	28
2.4 ANÁLISIS REOLÓGICO	28
2.4.1 Propiedades de textura	28
2.4.2 Ensayo de compresión	29
2.4.2.1 Modelo de compresión	29
2.4.3 Test Creep and Recovery	29
2.4.4 Propiedades de flujo	30
2.4.5 Perfil de viscosidad	31
2.4.6 Comportamiento viscoelástico	31
2.4.7 Ensayo de barrido de amplitud y frecuencia	31
2.4.8 Modelo de Ross-Murphy	32
2.5 DISEÑO EXPERIMENTAL	32
2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	32
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33

	pág.
3.1 PROCESO PRODUCTIVO DE LA AREPA DE MAÍZ	33
3.2 ANÁLISIS PROXIMAL	34
3.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	37
3.4 ANÁLISIS REOLÓGICOS	38
3.4.1 Propiedades de textura a grandes deformaciones	38
3.4.2 Ensayos de Creep and Recovery	40
3.4.3 Propiedades de flujo	47
3.4.4 Perfil de viscosidad	50
3.4.5 Ensayo de compresión a pequeñas deformaciones	52
3.4.6 Comportamiento viscoelástico	55
4. CONCLUSIONES	61
5. RECOMENDACIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	71



## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Pesaje de ingredientes para las arepas	30
Cuadro 2. Composición proximal de materias primas	34
Cuadro 3. Composición proximal del producto final	35
Cuadro 4. Análisis microbiológico de las materias primas	37
Cuadro 5. Análisis microbiológico de las arepas	38
Cuadro 6. Valores de capacidad de deformación y de relajación del ensayo de deformación hecho en las muestras masa de maíz con queso, quinua y ajonjolí	42
Cuadro 7. Parámetros obtenidos en el test <i>Creep</i> día 15 de las muestras Q, AQ, QQ con 5-10-15% de humectación	45
Cuadro 8. Parámetros de ajuste de la fase <i>recovery</i> del día 0, de las muestras Q, AQ,QQ con 5-10-15% de humectación	45
Cuadro 9. Parámetros de ajuste de la fase <i>recovery</i> del día 15, de las muestras Q, AQ,QQ con 5-10-15% de humectación	46
Cuadro 10. Aumento de la viscosidad en cada una de las muestras durante las fases de calentamiento y enfriamiento	51
Cuadro 11. Fuerzas máximas aplicadas a cada una de las muestras en los días 0 y 15	53
Cuadro 12. Porcentajes de deformación de RVL de las muestras analizadas	56

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ejemplo de un ensayo <i>creep and recovery</i> ideal	20
Figura 2. Máquina de ensayo Universal (Shimadzu EZ TEST SM, modelo 500N-169)	28
Figura 3. Reómetro Hybrid HR-20	30
Figura 4. Diagrama de proceso productivo de arepa de maíz	33
Figura 5. Diagrama de la composición proximal de las materias primas	34
Figura 6. Composición proximal de las arepas evaluadas	35
Figura 7. Procedimiento de análisis proximal de las tres mezclas de arepas	36
Figura 8. Comparación doble vía de los resultados obtenidos en la prueba de textura de las arepas en los días 0 y 15	39
Figura 9. Curva de <i>creep and recovery</i> de la muestra de ajonjolí con 10% de humectación; en la parte superior (A) se encuentra la muestra en día 0, en la parte inferior (B) la muestra en día 15. La línea de color rojo identifica el ajuste del modelo de Burgers y la línea de círculos negros son los datos experimentales obtenidos modelados	41
Figura 10. Comportamiento <i>creep and recovery</i>	43
Figura 11. Test de la fase de <i>Creep</i> , (A) análisis de la variable de respuesta $\lambda_1$ en el tiempo inicial en las muestras de cada tipo de arepa con 5, 10 y 15% de humedad para cada una; y (B) para los 15 días de almacenamiento en congelación	44
Figura 12. Test de la fase de <i>Recovery</i> , (A) análisis de la variable de respuesta $\lambda_1$ en día 0 en las muestras Q, AQ, QQ con 5%, 10%, 15% de humedad para cada una; (B) para los 15 días de almacenamiento en congelación	46
Figura 13. Efecto de la velocidad de cizalla sobre el índice de flujo y la consistencia de las dispersiones de las mezclas de arepas A) Ajonjolí queso, B) Quinoa queso, C) Solo queso	48
Figura 14. Análisis estadístico de las variables K(consistencia) y n (índice de flujo). A) K (consistencia), B) (índice de flujo). AQ (arepas ajonjolí queso), Q (arepas con queso), QQ (arepas quinua queso)	49
Figura 15. Curva de viscosidad dependiente del tiempo durante el calentamiento y enfriamiento del almidón en cada una de las mezclas de arepas	50

	pág.
Figura 16. Comparación de la variable K (Velocidad de deformación) obtenida en el análisis de compresión en el día cero y en el día quince	53
Figura 17. Análisis estadístico de la fuerza máxima aplicada ( <i>Plateau</i> ) en las muestras en los días 0 y 15	54
Figura 18. Comparación de la fuerza máxima aplicada ( <i>Plateau</i> ) para la deformación de dos muestras de arepas (Q 10% 15 días, AQ 5% 0 días)	55
Figura 19. Barrido de deformación, A.1-muestra AQ 10% día 0; A.2- Q10% día 0; B.1- AQ10% día 15; B.2- Q10% día 15	56
Figura 20. Dependencia de la frecuencia de $G'$ y $G''$ . Comportamientos viscoelásticos de las muestras AQ10%- Q5%-QQ5% en el día 0	57
Figura 21. Comportamientos viscoelásticos de las muestras AQ- Q-QQ con 5% en el día 15. La línea roja representa el módulo elástico y la azul el módulo viscoso	58
Figura 22. Reporte estadístico del barrido de frecuencia de la variable S. A-módulo elástico ( $G'$ ) en el día 0; B-modulo viscoso ( $G''$ ) día 0; C-modulo elástico ( $G'$ ) día 15; D-módulo viscoso día 15	59

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Registro fotográfico de pruebas de análisis proximal	71
ANEXO B. Registro fotográfico de pruebas microbiológicas	72
ANEXO C. Resultados ANOVA dos vías	75
ANEXO D. ANOVA doble vía datos de ensayo de textura para el día cero y los quince días	76
ANEXO E. Resumen de análisis ANOVA de dos vías de las muestras después de 15 días de almacenamiento	77
ANEXO F. Fase de <i>creep and recovery</i>	78
ANEXO G. Análisis estadístico de las variables K y n del perfil de flujo	80
ANEXO H. ANOVA de la variable K	82
ANEXO I. Amplitud de deformación A- AQ, B-Q, C-QQ, con 5-10-15% de humectación, Día 0	84
Anexo J. Amplitud de deformación de las muestras (Q-AQ-QQ) con 5,10 y 15% de humectación. Día 15	85
ANEXO K. Barrido de frecuencia comparación de las 3 muestras de arepas A- AQ, B- Q, C-QQ con (5-10-15%) de humectación. Día 0	86
ANEXO L. Barrido de frecuencia comparación de las 3 muestras de arepas A- AQ, B- Q, C-QQ con (5-10-15%) de humectación. Día 15	87
ANEXO M. Resumen estadístico ANOVA del ensayo de barrido de frecuencia en las muestras (Ajonjolí, Queso, Quinoa) con (5,10,15) % de humectación a los 15 días de almacenamiento en congelación	88

## RESUMEN

Se realizó la caracterización de tres tipos de arepas: con queso, con ajonjolí queso y con quinua queso, con tres niveles de humedad (5%, 10% y 15 % de agua); el análisis proximal de las materias primas empleadas en la elaboración de las formulaciones, fue dirigido a determinar el aporte individual a las características fisicoquímicas del producto final. Se obtuvo que el mayor aporte proteico a las arepas lo realizan las semillas de ajonjolí y quinua, con un porcentaje de proteína de 11,519 % y 8,055%, respectivamente; en el estudio microbiológico para determinar la calidad del producto, se obtuvo la observancia de los parámetros establecidos en la NTC 5372 (Norma técnica colombiana para arepas de maíz refrigeradas). Al ensayo de textura y compresión, se obtuvo que la formulación, el porcentaje de humedad y tiempo de almacenamiento afecta significativamente la dureza de las arepas; en el día 0 de almacenamiento, las muestras Q10% (arepa de queso con un 10% de humedad) arrojan un valor de fuerza máxima de 1,17976 N y en el día 15 de 5,4463 N. En el ensayo de *creep* and *recovery*, se determinó que el tiempo retardo aumentó significativamente con el fin de postergar el proceso de retrogradación del almidón; en el análisis de perfil de flujo, los picos máximos de viscosidad se encuentran entre 0,4639 Pa s (AQ), 0,6168 Pa. S (QQ) y 1,179 Pa s (Q). El aumento de la viscosidad se produce durante el calentamiento (gelatinización del gránulo de almidón). En las pruebas del comportamiento viscoelástico de las muestras, se observa que  $G' > G''$  (módulos de almacenamiento y pérdida) para el día 15, lo cual indica que el fenómeno de retrogradación que sufre el almidón se volvió más lento, tendiendo a estabilizarse en todas las muestras. Se concluyó que la formulación y el porcentaje de humedad son los factores que más influyen en las propiedades reológicas y texturales de las mezclas de arepas causando endurecimiento en la masa.

**Palabras claves:** Arepa de maíz, reología, almidón, retrogradación, viscosidad, tiempo de retardo, deformación.

## ABSTRACT

The characterization of the arepa with cheese, with sesame cheese and with quinoa cheese was carried out, with three levels of humidity (5%, 10% and 15%). The proximal analysis of the raw materials was directed to determine the contribution of the physicochemical characteristics of the final product, where it was obtained that the highest protein contribution to the arepas is made by sesame seeds and quinoa, with 11,519% and 8,055%, respectively; in the microbiological study, the parameters established in NTC 5372 were taken into account. In the compression tests, it was found that the formulation, the humidity percentage and storage time affect the hardness of the arepas; on day 0 of storage, the Q10% samples show a maximum force value of 1.17976 N and on day 15 of 5.4463 N. In the creep and recovery test, it was determined that the delay time increased with the in order to postpone the process of retrogradation of starch; in the flow profile analysis, the maximum viscosity peaks are between 0.4639 Pa\*s (AQ), 0.6168 Pa\*s (QQ) and 1.179 Pa\*s (Q). In the viscoelastic behavior, it is observed that  $G' > G''$  for day 15, which indicates a delay in the starch retrogradation process, tending to stabilize the samples. It was concluded that the formulation and the moisture percentage are the factors that most influence the rheological and textural properties of the arepa mixtures, causing hardening in the dough.

**Key words:** corn arepa, rheology, starch, retrogradation, viscosity, retardation time, deformation.

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays L.*) es el cereal de más alto consumo en alimentación humana y animal, categorizado como uno de los tres más consumidos en el planeta, en conjunto con el arroz y el trigo. En el mercado se encuentra una gran variedad de productos derivados del maíz, como el pan y la arepa, elaborados a partir de la masa precocida de endospermo del maíz, muchos de los cuales en su mayoría contienen conservantes y aditivos que buscan extender su vida útil (ACI, 2019).

El consumo del maíz, principalmente blanco, en Colombia se incluye en la dieta de muchos hogares; la coloración influye en la presentación de arepa, que es un producto obtenido a partir de la masa de maíz blanco, amarillo o una mezcla de ambas; se usa también en preparaciones como empanadas y otros productos de consumo diario, que a nivel industrial implican almacenamiento a temperaturas de refrigeración y de congelación. La necesidad de encontrar en el mercado productos pre elaborados o precocidos, originada en factores como la practicidad en la preparación por la poca disponibilidad de tiempo para elaboración de alimentos, ha incrementado el consumo de arepas empacadas, lo que obliga a abordar la limitación del tiempo de vida útil en almacenamiento (García, 2015).

En este tipo de productos comúnmente se incluyen conservantes y aditivos, lo que hoy en día no es muy atractivo, ya que la sociedad está en busca de una alimentación saludable y natural, pero también exige que la esencia y sabor del producto no se vean alterados (García, 2015). La arepa es un producto emblemático del país que requiere de atención sobre los procesos tecnológicos implicados en su producción, para identificar los factores que causan cambios en las características organolépticas y texturales y establecer los mecanismos para mantener o mejorar la calidad de los productos.

De otra parte, en los últimos años el interés por la quinua ha incrementado, ya que es considerado un producto estrella por sus propiedades nutritivas, pues posee todos los aminoácidos, considerándose una buena opción para la inclusión en diversas formulaciones. En virtud de que los consumidores buscan alternativas saludables que complementen su estilo de vida, de fácil acceso y consumo y que su aporte nutricional sea elevado, la quinua es una opción viable para cumplir con las expectativas del mercado (Estupiñán *et al.*, 2017).

Pensando en elevar el valor proteico de las arepas y el atractivo por la adición de componentes saludables y funcionales, se optó por incluir quinua (*Chenopodium Quinoa*), que contribuye a mejorar el contenido proteico de la arepa tradicional, y, semillas de ajonjolí (*Sesamun indicum L.*) como fuente de energía; cabe resaltar su riqueza nutricional en calcio, hierro, vitamina E y grasas insaturadas (Tejada, 2018). Teniendo en cuenta lo anterior, en la granja integral la Alejandría, se ha optado por una producción de arepas libres de conservantes, con inclusión de cereales como el ajonjolí y la quinua, para ser una opción favorable y novedosa para los consumidores. En este sentido, se han propuesto las operaciones de refrigeración y congelación como alternativa en la preservación de la vida

útil del producto; sin embargo, estas provocan cambios físicos en la textura, como fragmentación de la arepa y cambios en sabor, lo cual genera un problema en la mejora de la calidad final del producto.

Con el objetivo de mejorar la calidad de cada uno de los productos ofrecidos, se planteó realizar una evaluación de la textura de la arepa de maíz durante el almacenamiento en condiciones de refrigeración y congelación, en la planta piloto de la Granja Integral Alejandría en el municipio de El Tambo; dichas pruebas se realizaron en los laboratorios de biotecnología y reología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca.



## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1 LOCALIZACIÓN

El proyecto se desarrolló en conjunto con la Universidad del Cauca, en la Facultad de Ciencias Agrarias y la Granja Integral Alejandría (GIA); las pruebas para el desarrollo del proyecto se llevaron a cabo en los laboratorios de Reología y Biotecnología adscritos a la facultad.

### 1.2 MARCO TEÓRICO

**1.2.1 Arepa.** La arepa es un producto de consumo obtenido a partir de la masa de maíz blanca, amarilla o mezcla de ambas previamente cocidas, mezclada con otros ingredientes tales como sal, queso, entre otros y que debe ser almacenada en refrigeración de 4°C a 10°C (NTC 5372).

Cuando los europeos llegaron a América, adoptaron el maíz casi de inmediato, pero trataron el grano molido y transformado en masa o en pan, lo que dio lugar a la arepa; en sus inicios era como un pan de maíz amasado y asado, que se elaboraba con forma de círculo y podía ser de diversos tamaños y grosores. Esta preparación se constituye en un alimento esencial, con características y cualidades importantes para las poblaciones del continente americano, su elaboración e ingredientes varían según el país (Espinoza *et al.*, 2018).

La arepa es una preparación culinaria con múltiples opciones en el proceso de elaboración, cuya difusión va desde el norte de México hasta el sur de Chile, en donde recibe diversas denominaciones, siendo las más comunes: totopostones o chapoles en México; panochas en Chile y Costa Rica; pupusas en Salvador; güirilas en Honduras; changas, bonitísimas o tortillas en Panamá y Ecuador y arepas en Venezuela y Colombia. La arepa se constituye en la receta indígena por antonomasia, que hace parte del patrimonio cultural nacional y a su vez es un símbolo de representación culinaria; aunque en Colombia no se reconoce en totalidad las arepas existentes en diferentes cocinas regionales, es un hecho que hasta los más prestigiosos chefs profesionales y estudiosos culinarios se sorprenden al enterarse de que existen diferentes arepas con mínimas variaciones en su forma, tamaño, tipo de maíz utilizado y los eventuales y variedad de ingredientes incorporados a la masa (Estrada, 2019).

**1.2.2 Maíz (Zea Mays.L).** El maíz es considerado uno de los tres cereales más consumidos a nivel mundial, junto con el trigo y el arroz (García y Laval, 2019). El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde entre el 72 y el 73% del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3% del grano. El maíz es utilizado para la

alimentación humana y animal y como materia prima en la producción de almidón industrial y alimenticio, en la elaboración de edulcorantes, dextrinas, aceite y otros productos derivados de su proceso de fermentación, como el etanol, el alcohol industrial, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), diversos aminoácidos, antibióticos y plásticos, y como sustituto del petróleo y sus derivados, que son recursos no renovables (Grande y Orozco, 2013).

El maíz, el trigo y el arroz, son cereales de la familia Gramíneas (FAO, 2016). Suministra 13 elementos nutritivos y se utiliza como materia prima para la producción de almidón, aceites, proteínas y edulcorantes, entre otros (FAO, 2016) Las formas de consumo del maíz varían de acuerdo a la región: en México se consume en forma de tortillas y en Colombia como arepas, las cuales son pan de maíz tostado sin levadura de forma redondeada y que se prepara con cereal desgerminado (FAO, 2016).

**1.2.3 Quinua (*Chenopodium quinoa Willd*).** La quinua es un pseudocereal cultivado en la antigüedad para la alimentación de culturas nativas de la región de los Andes. En la actualidad es cultivada en países como Ecuador, Bolivia, Colombia y Perú por su alto valor nutricional, representado por su calidad y cantidad de aminoácidos esenciales, lo que lo convierte en un alimento funcional e ideal para el organismo (Biodiversity International *et al.*, 2013). Debido al elevado contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, la quinua es el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales, que se encuentran extremadamente cerca de los estándares de nutrición humana establecidos por la FAO (FAO, 2011). De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y el Observatorio Agrocadenas de Colombia, la quinua es además una proteína calificada como biológicamente completa, por lo que contiene todos los aminoácidos pertinentes en una cantidad igual o superior a la establecida para cada uno en una proteína de referencia o patrón (Montoya *et al.*, 2005).

**1.2.4 Ajonjolí (*Sesamum indicum*).** El ajonjolí es una oleaginosa cultivada principalmente en Asia y África (Dada y Adeparusi, 2012; Boureïma *et al.*, 2012). Las semillas contienen 14 aceites que, debido a sus altos valores nutricionales y terapéuticos, hacen que esta sea una planta cultivada ampliamente en las regiones templadas tropicales, subtropicales y en el sur (Hata *et al.*, 2012); se adapta a climas tropicales y subtropicales generando altos rendimientos. Es autógama, con poblaciones generalmente compuestas de individuos homocigotos, por tanto, el avance genético se obtiene con la selección de individuos después de varias generaciones y se reproduce por autopolinización (Bedigian *et al.*, 1986; Morris, 2009; Furat y Uzun, 2010).

**1.2.5 Queso.** De acuerdo con el Codex Alimentarius, el queso es un producto semisólido madurado o fresco, en el cual el valor de la relación suero-proteínas/caseínas no supera al de la leche, obtenido mediante procesos de coagulación total o parcial y por la acción de cuajo u otros agentes coagulantes (FAO-OMS, 2008; Badui, 2006). Desde un punto de vista fisicoquímico, se puede afirmar que el queso es un sistema tridimensional tipo gel, formado por un complejo de caseinato y fosfato cálcico en el cual, mediante un proceso de coagulación, se pueden encontrar glóbulos de grasa, agua, lactosa, albúminas, globulinas, y minerales.

Para producir un queso se lleva a cabo la separación del suero de la leche, que también es rico en algunas proteínas como la albúmina y las globulinas; la variedad de quesos que existe es tan diversa, que según la leche y la variación en la técnica de producción, se puede dar origen a un queso diferente; de esta forma, se han registrado alrededor de 1000 variedades de queso distintas (Atwater, Pintor y Andres, 2016).

**1.2.6 Queso Campesino.** Se clasifica como un queso blanco y fresco de conservación muy baja en tiempo, pero de gran valor nutricional, no ácido, de alto aporte proteico y de fácil preparación; aunque esta puede diferir en los procedimientos de acuerdo con la empresa o productor que elabora el queso (SENA, 1987), se deben respetar parámetros mínimos en la elaboración del alimento, como el proceso de coagulación de la leche entera pasteurizada. Posterior al proceso de cuajado que se realiza mediante la acción de una enzima, el queso es escurrido, moldeado y prensado para eliminar el exceso de agua. El queso campesino conserva una cantidad mayor de líquido en comparación con otros tipos de queso, ya que en su elaboración no es llevado a cocción o maduración, lo cual permite que se conserve más agua en su interior y así su tiempo óptimo de consumo se ve disminuido. La elaboración de queso campesino es un proceso físico y químico-biológico, en el cual se obtiene un producto por coagulación de la leche gracias a la acción de tres factores que son: 1. Acción de una enzima (cuajo), 2. Control adecuado de la acidez, 3. Control adecuado de la temperatura. La interacción de los tres factores produce un alimento de fácil conservación y de gran aporte nutricional (FAO, 2003).

Se debe mencionar que no solo los protocolos de fabricación repercuten en el estado composicional del alimento, sino también los procesos bioquímicos que ocurren en los quesos. El proceso de degradación de grasas (lipólisis) es uno de ellos, los ácidos grasos sirven como precursores de sustancias como ésteres, alcoholes, cetonas, aldehídos y lactonas, que le dan diferentes características físicas y químicas al alimento (Kondyli *et al.*, 2002). La degradación de proteínas (proteólisis) también interviene en el estado del queso y se da por la transformación de las caseínas en péptidos más cortos o aminoácidos, se puede ver como desde la producción de la leche, se generan cambios a nivel proteico cuando la estabilidad de las micelas de caseína se ve alterada negativamente con la concentración de calcio iónico en la misma; esto varía de acuerdo al estado metabólico y nutricional de las vacas lecheras (Atwater *et al.*, 2016).

**1.2.7 Congelación.** La congelación es un proceso físico-químico complejo, de intercambio de calor y agua entre las células y el medio externo, que culmina en un cambio de una fase líquida a una sólida. Se logra incorporando un agente crioprotector al medio de congelación. Al iniciarse el descenso de la temperatura comienza a formarse hielo extracelular, con la consecuente concentración de sales, lo que provoca disminución del volumen celular y destrucción de la membrana plasmática. Al tener una tasa de enfriamiento muy rápida, el agua no alcanza a salir del interior de la célula y se produce el hielo intracelular (Cabodevilla y Teurel, 2001).

La congelación es uno de los procesos más comunes de conservación de alimentos; resulta efectiva en la retención de aroma, color y valor nutritivo de alimentos y moderada en la

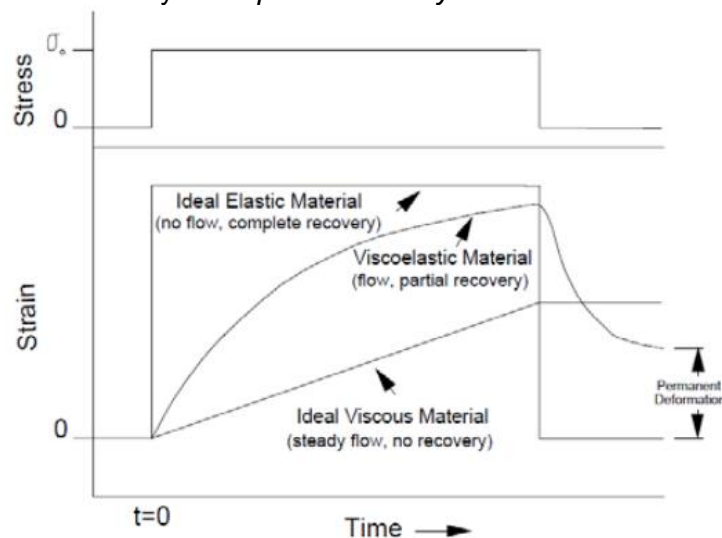
conservación de la textura en una duración larga (Punta, 2019). Este método de preservación es llevado a cabo con el fin de retener los atributos de calidad similares a los productos frescos. Su función es reducir la temperatura del alimento para lograr que una proporción elevada del agua que contiene, cambie de estado, formando cristales de hielo. Este cambio de temperatura produce, además de la inhibición de las actividades microbianas y enzimáticas, la reducción de la actividad de agua del alimento, permitiendo de esta forma, su conservación (Franco, 2014).

**1.2.8 Test Creep and Recovery.** Esta prueba es el ensayo de fluidez; consiste en aplicar un esfuerzo cortante constante a un material inicialmente en reposo y medir cómo varía la deformación con el tiempo (*creep*). Tras un periodo de recuperación en el que se cancela el esfuerzo aplicado, se registra la variación de la deformación con el tiempo (*recovery*). Aunque el ensayo puede efectuarse usando prensas universales de ensayos de textura, generalmente se realiza usando un reómetro de esfuerzo controlado de geometría placa-placa o cono-placa. El esfuerzo aplicado debe ser lo suficientemente pequeño para asegurar que la respuesta sea lineal, siempre y cuando la respuesta se encuentre dentro del rango de deformaciones que se pueda medir. La función viscoelástica obtenida en este ensayo es la capacitancia  $J(t)$ , definida en inglés como compliance, y que se define como el cociente entre la deformación  $\gamma(t)$  y el esfuerzo  $\sigma$  (ecuación 1).

$$J(t) = \frac{\gamma(t)}{\sigma} \quad (\text{Ec. 1})$$

La figura 1 muestra un ejemplo de ensayo de *creep and recovery* ideal, donde se representa la relación esfuerzo (stress) y deformación (strain) frente al tiempo (time) y se muestra el comportamiento de tres materiales ideales: elástico, viscoso y viscoelástico.

Figura 1. Ejemplo de un ensayo *creep and recovery* ideal



Fuente: Talens, 2017.

Una muestra viscosa ideal formaría un flujo sostenido, dando una respuesta lineal al esfuerzo ejercido, pero con la incapacidad de recuperarse de la deformación sufrida, mientras que una muestra viscoelástica tendrá una respuesta no lineal al esfuerzo ejercido y tendrá la habilidad de recuperar parcialmente su forma (Talens, 2017).

**1.2.9 Ensayo de textura.** En el campo de los alimentos, este ensayo se utiliza para medir y cuantificar las propiedades físicas relacionadas con la textura, que establecen el comportamiento de los sólidos cuando se produce compresión y relajación (Correa y González, 2018), de manera objetiva (instrumental) y subjetiva (pruebas sensoriales). Entre los dispositivos de prueba instrumentales están los texturómetros, que imitan las condiciones de la masticación y presentan excelentes correlaciones con las evaluaciones sensoriales de textura de diferentes tipos de alimentos (Paula y Conti-Silva, 2014).

### 1.3 ESTADO DE ARTE

La masa de un producto amiláceo se considera como un sistema complejo e inestable que se somete a una modificación continua en sus características físicas a través de las acciones de fuerzas físicas, químicas y biológicas (Rao y Rao, 1993).

La masa pertenece a un grupo de materiales viscoelásticos, en el cual un alto grado de viscosidad y plasticidad se combina con una considerable elasticidad (Wang y Sun, 2002). El objetivo de esta revisión es presentar conceptos sobre las características reológicas y texturales de las masas de maíz, los factores que las afectan y las investigaciones que se han realizado sobre el tema.

Ramírez-Wong *et al.* (1994) evaluaron las características texturales de la masa de maíz en diferentes condiciones de nixtamalización (tratamiento de cocción alcalina), por medio de una prueba de compresión/tensión en una máquina universal de ensayos Instron. Las características texturales de la masa de maíz (firmeza y adhesividad) dependen de la capacidad de retención de agua del material. El efecto del proceso de molienda fue mayor que el de la cocción, cuando se cocinó a tiempos menores de 20 min, mientras que a tiempos mayores sucedió lo contrario. Masas elaboradas con harina de un tamaño de partícula medio, a un tiempo de cocción alcalina de 55 min y con un nivel de contenido de humedad de 56.8 a 58.8%, tuvieron las características texturales más adecuadas para procesarlas en rodillos laminadores.

Limanond *et al.* (1999) evaluaron el efecto del empaque (polietileno) y el tiempo de reposo a temperatura ambiente (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 horas), sobre la estabilidad de las masas de maíz utilizadas en la elaboración de tortillas, mediante ensayos de compresión con un analizador de textura. Observaron que las características reológicas de las masas sin empaque y a los diferentes tiempos de reposo cambiaron significativamente, debido a la pérdida de humedad del material en dichos períodos; por otro lado, las masas empacadas presentaron propiedades reológicas similares durante los distintos periodos de reposo, por consiguiente,

concluyeron que el empaque de polietileno mantiene la masa de maíz en buenas condiciones para la elaboración de tortillas durante seis horas de reposo a temperatura ambiente.

Sahai *et al.* (2001) investigaron la relación entre las características texturales (firmeza, pegajosidad, cohesividad y gomosidad) de la masa y las propiedades funcionales y fisicoquímicas de sus componentes (cristalinidad del almidón, relación amilosa/amilopectina, curvas de empastamiento, tamaño de partícula de la harina). La mejor formulación fue 37% de harina gruesa (212  $\mu\text{m}$  a 425  $\mu\text{m}$ ), y 63% de harina fina (<212  $\mu\text{m}$ ). Las propiedades intrínsecas del almidón que constituye la masa tuvieron un mayor impacto en las propiedades reológicas que el tamaño de partícula de la harina. La cohesividad fue positivamente correlacionada con la concentración de amilopectina, mientras que la adhesividad fue correlacionada negativamente con la concentración de amilosa.

Shim y Mulvaney (2002) determinaron las propiedades reológicas dinámicas de una masa elaborada a partir de harina de maíz pregelatinizada a diferentes temperaturas de calentamiento (75, 85 y 95°C), condiciones de pH (5, 7 y 9) y cantidades de aislado de proteína de suero (0, 5 y 10%). El valor del módulo de almacenamiento ( $G'$ ) de las masas elaboradas de harina de maíz pregelatinizada, disminuyó linealmente con el incremento de la temperatura de calentamiento en cada nivel de pH; este tipo de masas aparentemente dependen de la fracción de volumen de los gránulos de almidón hinchados. Las masas que contenían aislado de proteína de suero mostraron mayores valores de  $G'$  que aquellas elaboradas de harina de maíz pregelatinizada en las condiciones propuestas de temperatura de calentamiento y pH. Concluyeron que la interacción entre el aislado de proteína de suero y el almidón de maíz contenido en la harina, aumenta la elasticidad de la masa probablemente por la reducción en el número de gránulos de almidón hinchados. El valor más alto de  $G'$  (60 kPa) se obtuvo a 75°C, pH de 9 y 10% aislado de proteína de suero.

García, Pérez, Acosta y Villada (2006) Realizaron la estandarización de la producción de masas de maíz y modificaron estas con manitol y CMC. Las pruebas reológicas de compresibilidad y porcentaje de deformación, revelaron que la combinación de aditivo que mejoró las propiedades de la masa con respecto al blanco fue la adición de 0.2% en peso de la mezcla 30% CMC - 70% Manitol. Se encontró que en la deformación de las masas sólo influyó el tipo de aditivo empleado, pero que, en el punto de fluencia, interaccionan tanto el aditivo utilizado como la cantidad del mismo. Este mejoramiento en las propiedades de la masa se da por la acción plastificante de los aditivos, los cuales se incluyen dentro de la estructura tridimensional del almidón y reducen la fricción entre las estructuras lineales de amilosa. Así, el suavizamiento ante los esfuerzos cortantes, aumenta la resistencia de las masas y sus productos ante los maltratos del transporte y la manipulación.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 MATERIA PRIMA

Las materias primas fueron adquiridas en la ciudad de Popayán, de la siguiente manera: el maíz (*Zea mays* L.) se distribuye en la quesera Los paisas; la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), por su parte, se adquirió en las empresas SEGALCO y NATURQUINUA y el ajonjolí (*Sesamum indicum*) en el almacén Lacteocarnicos.

### 2.2 ANÁLISIS PROXIMAL

La determinación proximal del queso como materia prima, se realizó con una liofilización previa a la muestra, para facilitar su conservación para las determinaciones siguientes.

**2.2.1 Contenido proteico.** Para la preparación de la muestra para la determinación de nitrógeno, inicialmente se realizó un proceso de desengrasado, seguido de la preparación de los reactivos, de la siguiente manera:

1. Para la solución indicadora de Tashiro se mezclaron 25 mL de solución alcohólica de azul de metileno al 0.05% y 25 mL de solución al 0.1% de rojo de metilo (0.2 g de rojo de metilo y 0.1 g de azul de metileno en 100 mL de etanol).
2. Para la solución de ácido bórico al 3%(p/v), se disolvieron 30 gramos de  $H_3BO_3$  en agua destilada caliente, se dejó enfriar y se aforó a 1000 mL.
3. Para el ácido clorhídrico 0.1 N, se disolvieron 8.0 mL de HCl (37%-1.19 g/mL) en un litro de agua destilada.
4. Para la solución de hidróxido de sodio 32%(p/v), se pesaron 32 g de hidróxido de sodio industrial, se diluyeron en agua destilada y se aforó a un balón de 100 mL.
5. Para la solución de hidróxido de sodio 20%(p/v), se pesaron 20 g de hidróxido de sodio industrial, se diluyó con agua destilada y se aforaron en un balón de 100 mL.

En papel libre de nitrógeno (hoja calco) se pesaron 0.2 a 0.8 g de muestra, más 1 g de catalizador kjeldahl y se llevaron a tubos de digestión; se agregaron 10 mL de ácido sulfúrico y se llevaron a calentamiento suave. Finalmente se digitaron las muestras hasta que estuvieron completamente claras y traslúcidas, libres de materia orgánica (AOAC 968.06).

**2.1.2 Extracto etéreo.** Una vez secas las muestras, se realizó una purga de los cartuchos de extracción con el mismo solvente de la determinación durante 15 minutos y se llevaron a un desecador para volatilizar el solvente durante 1 hora. Se pesó un gramo de muestra en los cartuchos de extracción y se dejaron en la gradilla con sus respectivos soportes; se pesaron los cazos metálicos y llevaron a la gradilla hasta la cámara de extracción para la adición de 80 mL de éter de petróleo; se trasladó la gradilla al equipo soxhlet.

Cada uno de los cartuchos con muestra se introdujeron en el imán, se ajustaron los cazos metálicos y se bajó la palanca para que quedaran en posición. En el panel de control se ajustó la temperatura y el tiempo de las fases Boiling, rinsing y recuperación; se puso en marcha el programa presionando la tecla (star/stop) durante 1 segundo y se dejó en extracción el tiempo programado.

Finalizado el tiempo de extracción y recuperación de solvente, se llevaron los cazos metálicos a un horno a 60°C durante 1 hora para la eliminación de remanente de éter y posteriormente al desecador durante 6 horas. Finalmente, se pesaron los cazos metálicos y se calculó el porcentaje de extracto etéreo de las muestras (AOAC 991.36).

**2.2.3 Contenido de Fibra.** El método más común se basa en la digestión ácido-alcalina de la muestra bajo condiciones específicas; la finalidad del método es eliminar la proteína, carbohidratos solubles, residuos de grasa y vitaminas. El método se asemeja al proceso al que desempeña el organismo en función digestiva. Para la preparación de las muestras inicialmente se realizó un proceso de desengrasado.

Para la preparación de los reactivos en la solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.255 N, se pesaron 1.25 g de ácido para 100 mL, se midieron 7.2 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y se aforó a un litro con agua destilada; para la solución de NaOH 0.313 N, se pesaron 1.25 g de hidróxido de sodio para 100 mL y 12.39 g más que se disolvieron con agua destilada. Se esperó hasta que la solución llegó a temperatura ambiente y se aforó nuevamente a un litro con agua destilada.

Se transfirieron 1-2 g del residuo obtenido de la determinación de grasa (muestra desengrasada) a los crisoles de fibra del equipo Fibertest, estos se ubicaron en una gradilla y se llevaron hasta la unidad Fibertest, fijando al ángulo de la parte frontal de la unidad. Se insertaron las pinzas del manipulador en los crisoles y se ubicaron sobre los soportes; se bajó la palanca de cierre hasta el tope, se puso la tapa reflectora delante de los crisoles fijándose en los ganchos delanteros, se pusieron las válvulas de tres vías en la posición de cerrado, se calentó en un Erlenmeyer 150 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.255 N. Cuando pasó a ebullición, fue introducido por la parte superior del refrigerante y se ajustó el mando de calefacción en un punto que mantuviera una ebullición suave (punto 3 o 4), en donde permanecieron durante 30 minutos. Posteriormente se filtró.

El lavado con agua destilada se realiza introduciéndose por la parte superior del refrigerante y succionándola, operación que se realiza tres veces utilizando 30 mL de agua cada vez.



Por la parte superior del refrigerante se introdujeron 150 mL de la solución de hidróxido de sodio precalentado a 90°C; se llevó a ebullición manteniéndola por otro periodo de 30 minutos, fue lavado y filtrado tres veces con agua en ebullición. Se retiraron los crisoles de la unidad y se llevaron a un horno a 100-110 °C hasta que se obtuvo un peso constante, y se trasladaron a la mufla, en donde se dejaron por 20 minutos a 550°C. Se llevaron los crisoles al desecador, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se pesaron (AOAC 962.09).

**2.2.4 Contenido de Ceniza.** Es el análisis de residuos inorgánicos que son resultado de la ignición u oxidación completa de la materia orgánica de un alimento. Todos los alimentos contienen elementos minerales formando parte de los compuestos orgánicos e inorgánicos.

Se realizó un proceso de tarado del crisol de porcelana en la mufla por 1 hora a 550°C, se pesó el crisol una vez se enfrió o se llegó a peso constante (Pi), se pesaron de 3 a 5g de la muestra seca (Pm), se colocó el crisol con la muestra en la mufla y se calcinó durante tres horas a 550°C, se retiró el crisol con cuidado y fue llevado al desecador, se pesó el crisol junto con las cenizas una vez se enfrió y se llegó a peso constante (Pf) (AOAC. 985.29).

**2.2.5 Contenido de Carbohidratos.** Para la obtención de contenido de carbohidratos, se realiza la diferencia entre los resultados obtenidos con las determinaciones diferentes.

**2.2.6 Contenido de Humedad.** El principio de la determinación de la humedad es la pérdida de peso que experimenta un alimento cuando es sometido a un secado en la estufa, en el lapso de 1 hora, a una temperatura de 130±5°C, hasta obtener un peso constante. La materia seca es el residuo que queda posterior al secado.

Se taró la cápsula en la estufa durante 1 hora a 130±5°C y se pesó la cápsula fría junto con su tapa (Pc). Se pesaron aproximadamente 2g de la muestra homogenizada (Pm), se colocó la cápsula destapada con la muestra en la estufa y se dejó secar por 1 hora, se retiró la cápsula de la estufa y se llevó a un desecador; finalmente se pesó la cápsula fría junto con su tapa que contiene la materia seca, hasta obtener un peso constante (Pf) (Métodos oficiales de la AACC).

## 2.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

El análisis microbiológico se realizó con el fin de determinar la calidad de los productos ofrecidos, donde se tuvieron en cuenta cada una de las metodologías establecidas por las NTC 4519 para mesófilos, NTC 4458 para coliformes totales, NTC 4779 para *Staphylococcus aureus*, NTC 5698-2 para hongos y levaduras, NTC 4579 para *Bacillus cereus* y NTC 4574 para la identificación de Salmonella. Inicialmente se les realizaron las pruebas a las materias primas, con el fin de verificar si era necesario cambiar de proveedores; todo esto se realizó en tiempo 0 y a los 15 días.

Para la verificación de los resultados obtenidos en laboratorio, se realizó un conteo de las colonias formadas en cada una de las cajas de Petri, resultados que se consignaron en una hoja de Excel para determinar puntualmente las UFC/g presente en cada uno de los productos. Con base en la normativa de referencia (NTC 5894 para queso fresco, NTC 5273 para arepa), se estableció si el producto cumplía o no los rangos permisibles para la comercialización.

**2.3.1 Identificación de Mesófilos.** Se siguió el procedimiento descrito en la metodología para la determinación de la presencia de mesófilos basados en NTC 4519 y NTC 4491-1.

Para la preparación de las muestras, en un erlenmeyer se mezclaron 10 g de muestra con 90 mL de agua destilada, se agitó en shaker (MaxQ 4450 orbital Thermo Fisher Scientific USA) por 10 min, se dejó sedimentar y se repitió el procedimiento con todas las muestras.

El agar se preparó según especificaciones de la ficha técnica del recipiente. Se pesó lo indicado, se adicionó el agua destilada y se llevó a ebullición en una plancha con agitación constante; más adelante se llevó a esterilización en autoclave.

En el proceso de inoculación se usó una micropipeta, transfiriendo 1000  $\mu\text{L}$  de la muestra de la primera dilución decimal  $10^{-1}$  a la siguiente  $10^{-2}$ . Se repitió el procedimiento descrito con las diluciones adicionales, usando una punta diferente para cada dilución decimal. Luego se tomaron alícuotas de 1000  $\mu\text{L}$  de las diluciones y se depositaron en las cajas Petri acordadas para las repeticiones; en seguida se agregaron entre 10 a 15 mL de agar PCA en cada caja petri. Cuidadosamente se mezcló el inóculo con el medio y se dejó solidificar; las cajas de invirtieron, se empacaron en vinipel y se llevaron a incubación a  $30^{\circ}\text{C}$  durante  $72\text{h} \pm 3\text{h}$ .

**2.3.2 Identificación de coliformes totales NTC 4458.** En un erlenmeyer se mezclaron 2 g de muestra con 18 mL de agua destilada, se agitó y dejó sedimentar. Se repitió el procedimiento con todas las muestras.

El agar se preparó según especificaciones de la ficha técnica del recipiente. Se pesó lo indicado, se adicionó el agua destilada y se llevó a ebullición en una plancha con agitación constante; más adelante se llevó a esterilización en autoclave.

En el proceso de inoculación e incubación se usó una micropipeta, se transfirieron 1000  $\mu\text{L}$  de la muestra de la primera dilución decimal  $10^{-1}$  a la siguiente  $10^{-2}$ . Se repitió el procedimiento descrito con las diluciones adicionales, usando una punta diferente para cada dilución decimal. Luego se tomaron alícuotas de 1000  $\mu\text{L}$  de las diluciones y se depositaron en las cajas Petri acordadas para las repeticiones, más 10 a 15 mL del medio específico en cada caja. Se mezcló el inóculo con el medio y se dejó solidificar; se invirtieron, se empacan en vinipel y se llevaron a incubación a  $35^{\circ}\text{C}$  durante  $24\text{h} \pm 2\text{h}$ .

**2.3.3 Identificación de *Staphylococcus aureus*, NTC 4779.** Para la preparación de muestras, en un Erlenmeyer se mezclaron 10 g de muestra con 90 mL de agua destilada, se llevó a agitación en el shaker (MaxQ 4450 orbital Thermo Fisher Scientific USA) por 10 min y se dejó sedimentar. Se repitió el procedimiento con todas las muestras.

Los agares se prepararon según especificaciones de la ficha técnica del recipiente. Se pesó lo indicado, se adicionó el agua destilada y se llevó a ebullición en una plancha con agitación constante; más adelante se llevó a esterilización en autoclave.

En el proceso de inoculación e incubación se usó una micropipeta, se transfirieron 1000  $\mu$ L de la muestra de la primera dilución decimal  $10^{-1}$  a la siguiente  $10^{-2}$ . Se repitió el procedimiento descrito con las diluciones adicionales, usando una punta diferente para cada dilución decimal. Se traspasó el agar a las cajas Petri para que gelificara, se tomó una alícuota de 100 $\mu$ L de las diluciones y se depositó en las cajas de Petri acordadas; con ayuda de perlas de vidrio se agitó vigorosamente en la caja de Petri, en cada una de las repeticiones. Una vez solidificó, las cajas de Petri se invirtieron, se empacaron en vinipel y se llevaron a incubación a 35°C durante 24h.

**2.3.4 Identificación de Hongo y levaduras NTC 5698-2.** Para la preparación de las muestras, en un erlenmeyer se mezclaron 10 g de muestra con 90 mL de agua destilada, se agitó en shaker (MaxQ 4450 orbital Thermo Fisher Scientific USA) por 10 minutos y se dejó sedimentar. Se repitió este procedimiento con todas las muestras a evaluar.

El agar PDA se preparó según especificaciones de la ficha técnica del recipiente. Se pesó lo indicado, se adicionó el agua destilada y se llevó a ebullición en una plancha con agitación constante; más adelante se llevó a esterilización en autoclave.

En el proceso de inoculación e incubación se usó una micropipeta, se transfirieron 1000  $\mu$ L de la muestra de la primera dilución decimal  $10^{-1}$  a la siguiente  $10^{-2}$ . Se repitió el procedimiento descrito con las diluciones adicionales, usando una punta diferente para cada dilución decimal. Se traspasó el agar PDA en las cajas Petri para que, una vez solidificado, reciba una alícuota de 100 $\mu$ L de las diluciones; con ayuda de perlas de vidrio se agitó vigorosamente en la caja de Petri, en cada una de las repeticiones. Al solidificar, se invirtieron, se empacaron en vinipel y se llevaron a incubación a 30°C de 24h a 72h.

**2.3.5 Identificación de *Bacillus cereus* NTC 4679.** Para la preparación de las muestras, en un erlenmeyer se mezclaron 10 g de muestra con 90 mL de agua destilada, se agitó en shaker (MaxQ 4450 orbital Thermo Fisher Scientific USA) por 10 min y se dejó sedimentar. Se repitió el procedimiento con todas las muestras.

El agar MYP se preparó según especificaciones de la ficha técnica del recipiente. Se pesó lo indicado, se adicionó el agua destilada y se llevó a ebullición en una plancha con agitación

constante; más adelante se llevó a esterilización en autoclave y se agregó el suplemento de yema de huevo específico para *Bacillus cereus*. En el proceso de inoculación e incubación se usó una micropipeta, se transfirieron 1000  $\mu\text{L}$  de la muestra de la primera dilución decimal  $10^{-1}$  a la siguiente  $10^{-2}$ . Se repitió el procedimiento descrito con las diluciones adicionales, usando una punta diferente para cada dilución decimal. Se vació el agar MYP en las cajas Petri para que, una vez gelificado, recibiera una alícuota de 100 $\mu\text{L}$  de las diluciones; con ayuda de perlas de vidrio se agitó vigorosamente en la caja de Petri, en cada una de las repeticiones. Las cajas de Petri solidificadas se invirtieron, se empacaron en vinipel y se llevaron a incubación a 30°C de 24h a 72h.

**2.3.6 Identificación de *Salmonella*.** Las muestras y sus duplicados se prepararon según la norma NTC 4574: 25 g de muestra se diluyeron en 225 ml de agua peptonada tamponada y se mezclaron a 150 rpm durante 10 minutos en el Shaker (MaxQ 4450 orbital Thermo Fisher Scientific USA).

Una vez culminado el tiempo de proceso de siembra e incubación a 37°C durante 18 h +/- 1, se inocularon 100  $\mu\text{L}$  en 10 ml de caldo Rappaport Vassiliadis verde melaquina (medio RVS) a 41,5°C durante 24 horas y 1000  $\mu\text{l}$  en 10 ml de caldo Tetratonate Mueller Kauffmann (MKTTn medio) a 37°C durante 24 horas. Transcurrido este tiempo se sembró mediante un asa la superficie de una caja de Petri que contenía agar XLD medio selectivo, de tal forma que se obtuvieran colonias aisladas. Se procedió de la misma manera con *Salmonella* Shigella agar, se incubaron a 34°C durante 24 horas, al cabo de las cuales se observaron colonias típicas de *Salmonella*.

## 2.4 ANÁLISIS REOLÓGICO

**2.4.1 Propiedades de textura.** Las propiedades mecánicas de las arepas se estudiaron usando un analizador de textura (Shimadzu EZ TEST SM, modelo 500N-169). Las muestras se comprimieron perpendicularmente a la dirección de la máquina del moldeo a 30% de su diámetro, utilizando una plantilla cilíndrica de 36 mm de diámetro, a una velocidad de prueba de 2.0 mm/min (Muñoz *et al.*, 2022).

Figura 2. Máquina de ensayo Universal (Shimadzu EZ TEST SM, modelo 500N-169)



**2.4.2 Ensayo de compresión.** La prueba de compresión es la más simple y popular de medición de textura instrumental; este ensayo se realizó mediante un reómetro (Hybrid Discovery HR-20). En su método más simple, una muestra se coloca sobre una base o superficie plana y una sonda o placa plana se baja sobre la muestra, a una fuerza o distancia dada; para el caso presente, se aplicó una fuerza axial para la muestra de 1 N, a una velocidad de 5 mm/min, y una distancia inicial de 6 mm. La muestra se deforma y se registra el alcance de la deformación y/o la resistencia ofrecida. Las pruebas de compresión simples a menudo se denominan compresión uniaxial, lo que significa que la muestra se comprime en una dirección y no está restringida en las otras dos. Se puede elegir un grado de compresión bajo o alto, pero un alto grado de compresión generalmente hará que el producto se rompa, se extienda, se fracture o se rompa en pedazos (INSTRON, 2012).

**2.4.2.1 Modelo de compresión.** Se utilizó el modelo de asociación de una fase (One-phase association) para el análisis de los datos obtenidos en el ensayo de compresión:

$$Y = Y_0 + (Plateau - Y_0) * (1 - \exp(-K * X)) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde la variable K está relacionada con la velocidad de deformación y Plateau es la fuerza máxima aplicada para la deformación de la muestra (Takahashi *et al.*, 2009).

**2.4.3 Test Creep and Recovery.** Se llevaron a cabo ensayos oscilatorios y de recuperación de la fluencia con un reómetro hybrid, con geometría de placas paralelas (20 mm de diámetro) de superficie lisa y con espacio de 7 mm. Se eliminó el exceso de masa. Antes de la medida, la masa se dejó reposar durante 10 min para permitir relajación. Los datos de fluencia se describen en términos de conformidad de fluencia (J), que se define como la deformación dividida por la tensión aplicada (mantenida constante durante la creep test). Los datos de creep compliance se modelaron según el modelo Burgers de cuatro parámetros (Lazaridou *et al.*, 2007; Van Bockstaele *et al.*, 2011) determinado por:

$$J_c(t) = J_0 + J_1(1 - \exp(-\frac{t}{\lambda_1})) + J_2(1 - \exp(-\frac{t}{\lambda_2})) + \frac{t}{\mu_0} \quad (\text{Ec. 3})$$

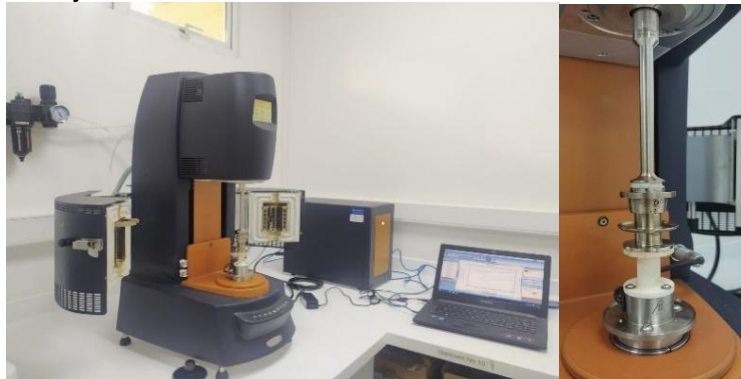
$J_c(t)$  es el *creep compliance*,  $J_0$  es el compliance instantáneo,  $J_1$  y  $J_2$  son la compliance elástico retardado o cumplimientos viscoelásticos,  $t_1$  y  $t_2$  son los tiempos de retardo y  $\mu_0$  la información sobre la viscosidad en estado estacionario. En el modelo Burgers, el cumplimiento de estado estable será la suma de  $J_0$ ,  $J_1$  y  $J_2$  (Van Bockstaele *et al.*, 2011).

Se utilizaron ecuaciones similares para el cumplimiento de la recuperación  $J_r(t)$ . Como no hubo flujo viscoso en la fase de recuperación, las ecuaciones consisten sólo de los parámetros que describen la respuesta elástica después de la eliminación del esfuerzo cortante. Los datos de las pruebas de fluencia se crearon según el Modelo Burgers de cuatro parámetros dado por:

$$J_r(t) = J_{max} - J_{r0} - J_{r1} \left( 1 - \exp \exp \left( \frac{-t}{\lambda_1} \right) \right) - J_{r2} \left( 1 - \exp \exp \left( \frac{-t}{\lambda_2} \right) \right) \quad (\text{Ec. 4})$$

$J_{max}$  será el cumplimiento de fluencia máximo que se obtendrá al final del paso de fluencia. El cumplimiento de estado estacionario en el paso de recuperación,  $J_{steady}$ , también se calculó restando el valor de cumplimiento a la región terminal de la curva (donde la recuperación de la masa alcanzara el equilibrio) de la  $J_{max}$ .

Figura 3. Reómetro Hybrid HR-20



**2.4.4 Propiedades de flujo.** Para las pruebas del perfil de flujo, se realizó un tamizado de las harinas con una malla número 40. El tamizado se realizó tomando 100 g de cada muestra (harina de quinua y de ajonjolí, y, queso liofilizado y harina de maíz previamente molidos en el molino analítico), agitando la malla durante 15 minutos para realizar la separación de las partículas con un tamaño de 425 micras.

Las harinas tamizadas se empacaron en bolsas con cierre hermético, hasta realizar el pesaje individual para cada tipo de arepa; en cada una de las dispersiones se trabajó con 25 g de la mezcla completa, debido a la capacidad máxima del cazo que maneja el equipo.

Cuadro 1. Pesaje de ingredientes para las arepas

Arepa	Ingrediente	Cantidad
Ajonjolí queso	Harina de ajonjolí	0.525g
	Harina de queso	1.5g
	Harina de maíz	1.7625g
	Agua	21.25 g
Quinua queso	Harina de quinua	0.4875g
	Harina de queso	1.5g
	Harina de maíz	1.7625g
	De agua	21.25g
Queso	Harina de queso	1.5g
	Harina de maíz	1.9875g
	Agua	21.25g

Una vez pesadas las harinas para las dispersiones de las arepas, se homogenizaron por agitación y las muestras se ubicaron en el equipo.

Las propiedades de flujo de cada dispersión se determinaron mediante un reómetro (TA Instruments, AR 1500, Newcastle, EE. UU.), equipado con una geometría de cilindro concéntrico. La velocidad de cizallamiento tuvo un incremento de 0 a  $300 \text{ s}^{-1}$  durante 5 minutos. La viscosidad aparente media se determinó entre  $180$  y  $200 \text{ s}^{-1}$ , evitando la zona de transición por efecto de la velocidad de corte. Se obtuvieron curvas de flujo (esfuerzo cortante versus velocidad de corte) y se ajustaron al modelo de ley de potencia (Ec. 5)

$$\tau = K * (\dot{\gamma})^n \quad (\text{Ec. 5})$$

donde  $\tau$  es el esfuerzo cortante (Pa),  $\dot{\gamma}$  es la velocidad de corte ( $\text{s}^{-1}$ ), K es el coeficiente de consistencia ( $\text{Pa s}^{-1}$ ), y n es el índice de comportamiento del flujo. El índice de comportamiento de flujo indica un comportamiento de flujo newtoniano ( $n=1$ ), de adelgazamiento por cizallamiento (pseudoplástico,  $n<1$ ) y de espesamiento por cizallamiento (dilatante,  $n>1$ ) (Rojas., 1999).

La consistencia y la fluencia se determinaron antes y después de la curva de empastamiento, con el fin de determinar el efecto del procesamiento térmico sobre estos parámetros. Finalmente, los datos fueron suavizados empleando la función de Savistky-Golay en el programa GraphPad Prism versión 6.

**2.4.5 Perfil de viscosidad.** Las propiedades reológicas de cada dispersión se determinaron mediante un reómetro (TA INSTRUMENTS, AR 1500, Newcastle, EE. UU.), equipado con una geometría de cilindro concéntrico. La velocidad de cizalla se mantuvo constante a  $16,75 \text{ s}^{-1}$ , en todo el rango de calentamiento ( $25 \text{ °C} - 95\text{°C} - 25\text{°C}$ ) mientras que la velocidad de calentamiento fue de  $10\text{°C}/\text{min}$ . El pico de viscosidad (PV), la caída de viscosidad (BD) y set back (SB) se registraron por duplicado (Pasqualone *et al.*, 2021). Mediante la función de Savistky-Golay se suavizaron los datos en el programa GraphPad Prism versión 6 (TA-Intruments, 2021).

**2.4.6 Comportamiento viscoelástico.** Las propiedades viscoelásticas de las muestras se determinaron según lo descrito por Zhu y Wang (2012), con algunas modificaciones, utilizando un reómetro (TA INSTRUMENTS, AR 1500, Newcastle, EE. UU.) con un sistema de placa Peltier, con control de temperatura y geometría de placa paralela lisa de 40 mm de diámetro. Se cargó una muestra de  $\pm 2 \text{ g}$  sobre la placa inferior y la placa superior se bajó a un espacio de 1mm. La velocidad de calentamiento fue de  $10 \text{ °C}/\text{min}$  a 1 Hz y 0.01% de deformación. Se determinaron los módulos elásticos y viscosos ( $G'$  y  $G''$ ).

**2.4.7 Ensayo de barrido de amplitud y frecuencia.** Se realizaron a  $25\text{°C}$  sobre las muestras, con una amplitud de deformación entre 0,2 y 0,5%, con frecuencia entre 5.0 Hz.

**2.4.8 Modelo de Ross-Murphy.** Para evaluar el comportamiento reológico de las muestras de masa de maíz con queso, ajonjolí y quinua en función de la frecuencia, se utilizó la ecuación Ross-Murphy a dos parámetros:

$$Y = K * X^S \quad (\text{Ec. 6})$$

## 2.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo unifactorial, en el cual se tomó como factor el tiempo de almacenamiento en tres niveles; el factor de variación es la humectación en cada muestra (5%, 10%, 15%). Las pruebas se realizaron en el tiempo inicial y a los 15 días de almacenamiento en congelación. Los datos de composición proximal fueron examinados mediante un análisis de varianza, con un nivel de significancia del 5%. Para determinar la influencia del tiempo de almacenamiento en los parámetros texturales, se realizó un análisis de múltiple comparación.

Para los parámetros del ensayo de *creep and recovery*, viscoelasticidad, propiedades de flujo, perfil de viscosidad se desarrollaron modelos no lineales que se ajustan al esquema de Maxwell, Burgers, Ley de potencia y Modelo de Ross Murphy, respectivamente, y los datos se compararon mediante un análisis de varianza, usando el criterio de comparación múltiple de Tukey. El software empleado para el análisis estadístico y modelamiento de los datos fue GraphPad prism versión 6.

## 2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó para determinar si existían diferencias entre las respuestas en los tratamientos; si el análisis del ANOVA presentó diferencias significativas con un valor- $p < 0.05$ , se procedió a realizar el análisis de comparación múltiple, en el caso de las pruebas de perfil de textura y *creep and recovery* se realizaron pruebas ANOVA doble vía. Por ejemplo, para estudiar el efecto de los tratamientos sobre los porcentajes utilizados de agua y almidón en las mezclas, se empleó el test de comparación múltiple Tukey. El software empleado para el análisis estadístico fue GraphPad prism versión 6.



### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 PROCESO PRODUCTIVO DE LA AREPA DE MAÍZ

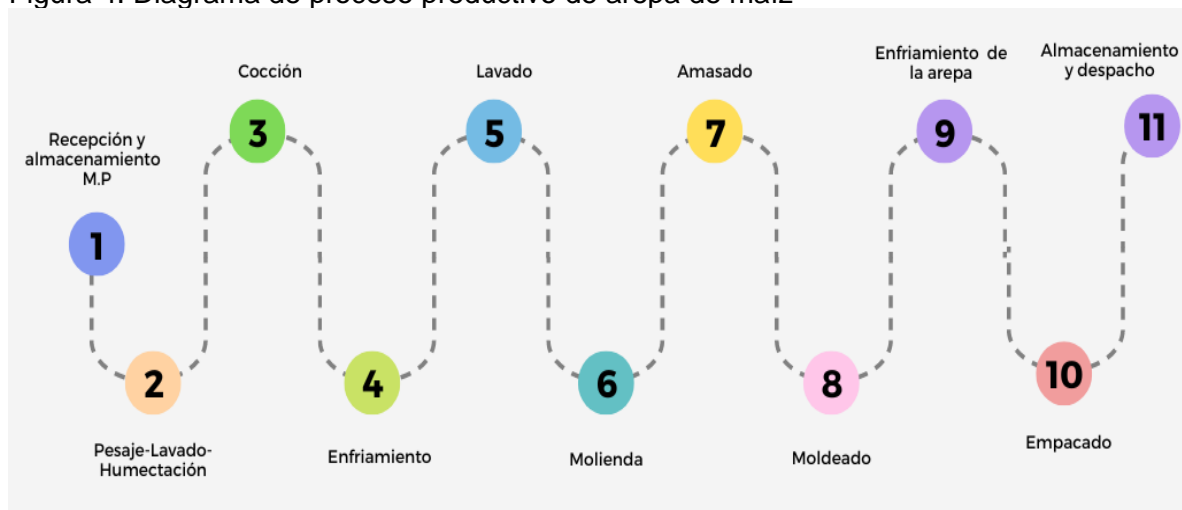
La arepa de maíz es un producto de consumo diario en Colombia y Venezuela. Para el caso de Colombia, la FAO la define como un pan de maíz tostado sin levadura, de forma redondeada y que se prepara con cereal desgerminado.

En Colombia, la elaboración industrial de arepa de maíz es un proceso que se realiza de la forma tradicional a gran escala; es decir, nace de conocimientos empíricos, introduciendo un nivel básico de tecnología que permite la obtención de cantidades considerables de producto (Moreno y Venegas, 2004). En la figura 4 se muestra el diagrama de flujo del proceso de elaboración de arepas alegrías; se destacan las operaciones críticas como la humectación previa a la cocción del grano, la cocción, la conservación y el almacenamiento, etapas en las que el maíz sufre los cambios físicos y químicos que proporcionan las características propias del producto final.

**Humectación:** es una operación en la cual se busca que el grano de maíz gane mayor cantidad de agua por contacto directo con la misma, lo que provoca aumento de peso, hinchamiento y un ablandamiento que favorece la velocidad y tiempo de cocción (Moreno y Venegas, 2004).

**Cocción:** en esta operación se somete el maíz húmedo a altas temperaturas, con el fin de facilitar el hinchamiento de los granos y la gelatinización de los almidones presentes en él, que serán los encargados de proporcionar las características propias de la masa (Moreno y Venegas, 2004).

Figura 4. Diagrama de proceso productivo de arepa de maíz



### 3.2 ANÁLISIS PROXIMAL

La arepa de maíz blanco requiere que el grano sea previamente cocido y mezclado con otros ingredientes como el queso, semillas, sal, etc. (Velásquez, 2014). Con el fin de conocer la composición de macronutrientes o componentes mayoritarios de las arepas comercializadas por Arepas Alegría, se realizó el análisis proximal para la determinación de proteína, grasa, fibra, ceniza, carbohidratos y porcentaje de humedad.

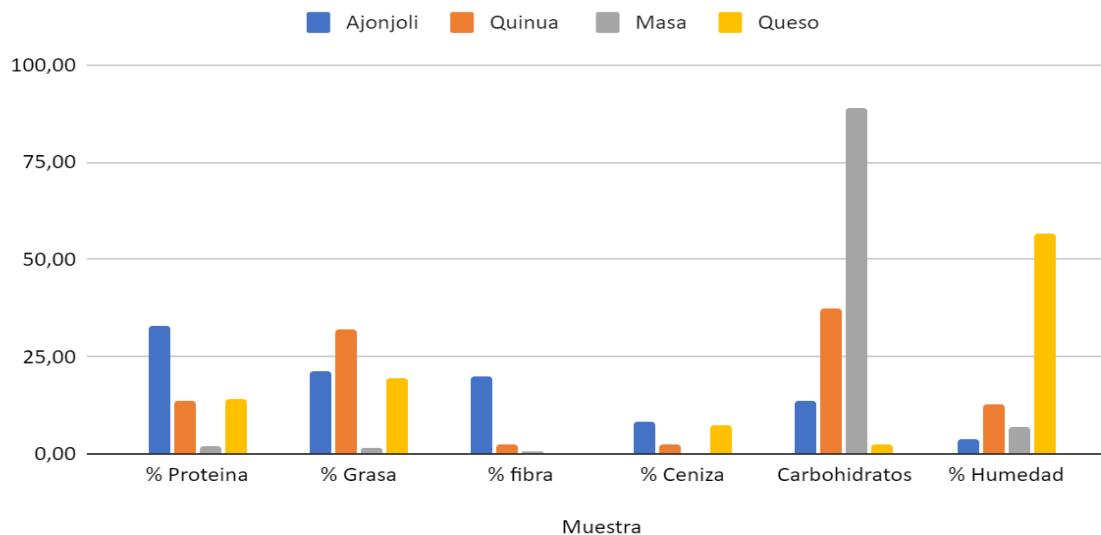
La composición proximal para las materias primas (masa de maíz precocido, queso campesino, harina de ajonjolí y de quinua), se determinó mediante métodos analíticos establecidos por la AOAC, los cuales se registran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Composición proximal de materias primas

Muestra	% Proteína	% Grasa	% Fibra	% Ceniza	% Carbohidratos	% Humedad
Ajonjolí	32,96	21,15	19,85	8,44	13,61	3,98
Quinua	13,79	31,86	2,37	2,24	37,17	12,56
Masa	2,02	1,39	0,70	0,09	88,84	6,96
Queso	14,15	19,54	0,00	7,21	2,35	56,75

En la figura 5 se presenta la composición de las materias primas de las arepas.

Figura 5. Diagrama de la composición proximal de las materias primas



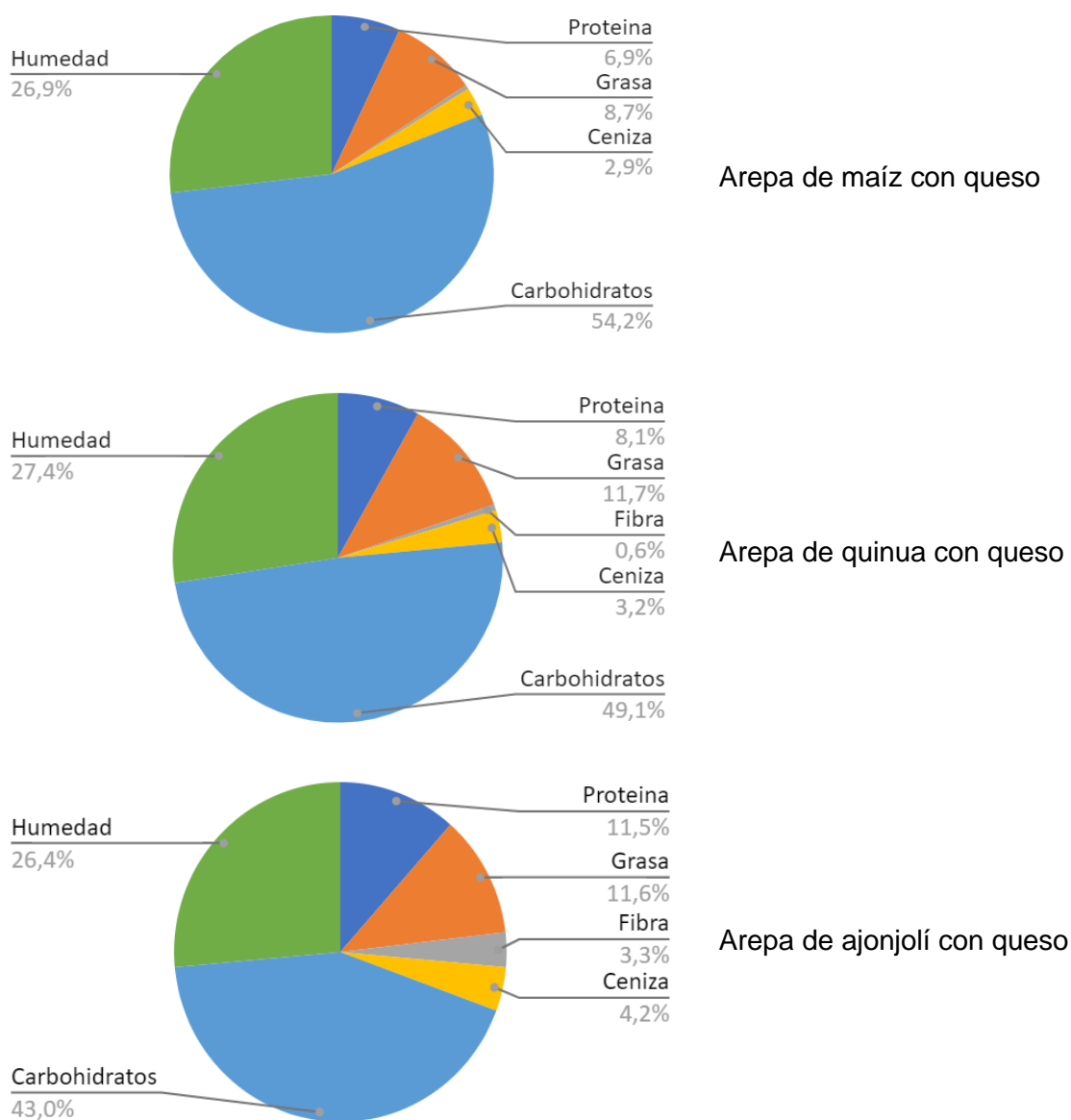
Un balance de materia arrojó la composición proximal del producto final, en este caso, arepas con queso, con quinua queso y con ajonjolí queso, los cuales se encuentran reportados en el cuadro 3.

Cuadro 3. Composición proximal del producto final

	Arepa con queso	Arepas quinoa queso	Arepa ajonjolí queso
Proteína (%)	6.878	8.055	11.519
Grasa (%)	8.651	11.698	11.616
Fibra (%)	0.417	0.585	3.290
Ceniza (%)	2.936	3.151	4.188
Carbohidratos (%)	54.241	49.075	42.958
Humedad (%)	26.876	27.436	26.429

En la figura 6 se observan estos resultados de manera gráfica.

Figura 6. Composición proximal de las arepas evaluadas



En la figura 6 se observa que la mayor composición en las tres formulaciones corresponde a los carbohidratos; en la arepa con queso se tiene 54,24% bh. En la arepa con queso se observa un mayor porcentaje de carbohidratos con respecto a las otras, debido a que cuenta con una proporción de masa en su composición (60%) respecto al queso (40%). Se parte de que el mayor componente del grano de maíz es el almidón, al que corresponde a valores cercanos al 70% del peso del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa, amilosa y amilopectina; la amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa que constituye entre el 25% y el 30% del almidón. El polímero amilopectina también se compone de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 75% de almidón; otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa (Benítez, 2007).

En la figura 6 se puede observar el contenido de humedad, cuya variación con respecto al tipo de arepas es mínima; esto puede atribuirse a la composición, ya que solo varían en la adición de las semillas (ajonjolí y quinoa); en la industria alimentaria, el almidón es un componente que contribuye a la textura de los productos, pues contribuye con la gelatinización y ayuda a espesar y a retener humedad (Cazares, 2015); esta es una de las características más importantes en el almacenamiento, dado que puede afectar la vida útil. En este análisis, se obtuvo un valor promedio de 26.9136% bh.

El contenido de proteína en la arepa depende del tipo de maíz empleado para su formulación y de la proteína aportada por el queso (caseína) o por el suero (suero proteínas); en el caso de las arepas con adición de semillas, el porcentaje de proteína aumenta debido a la alta contribución que estas realizan. Las arepas con adición de semillas presentaron porcentajes más altos con respecto a la arepa con queso, tal como se muestra en la figura 6, donde el porcentaje de proteína de la arepa con queso es de 6.878% BH y las arepas con quinua y ajonjolí presentan porcentajes de 8.055 y 11.519 %BH. Comparativamente con la arepa con queso, la adición de semillas contribuyó a un incremento de 85.38% y de 59.71% en las arepas con adición de semillas de quinua y de ajonjolí, respectivamente, lo que podría representar una mejora en cuanto a la calidad nutricional de este producto.

Figura 7. Procedimiento de análisis proximal de las tres mezclas de arepas



El relación con el contenido de grasa obtenido en los tres tipos de las arepas (con queso, quinua queso y ajonjolí queso), los valores fueron 8.651, 11.698 y 11.616, respectivamente

(ver figura 6); se aprecia que dos tipos de arepas cuentan con un mayor porcentaje de grasa (de quinua queso y ajonjolí queso), gracias a que en su formulación cuentan con la adición de semillas que aportan altas cantidades de grasa (31.86% para quinua y 21.15% para ajonjolí), datos obtenidos en la evaluación proximal de la materia prima en el laboratorio. A esos valores se les suma el porcentaje que contiene el queso campesino usado para la elaboración de las arepas (19.54%, valor obtenido en laboratorio); las cantidades presentes de lípidos en la leche, están condicionadas a factores como las características genéticas del animal, condiciones ambientales y alimentación (Merdivan, 2004).

En relación al contenido fibra el mayor valor se obtuvo en las arepas hechas con mezcla de semillas de ajonjolí y queso, lo cual se relaciona directamente con el alto valor de fibra que contiene el grano de ajonjolí reportado en la figura 5, donde se evidencia como el mayor, con un valor de 19.85%, seguido de la quinua con un valor de 2.37%; este resultado favorece los atributos nutricionales que se buscan en un alimento como la arepa que puede ser incluida en una dieta.

El contenido de cenizas y, por consiguiente, de minerales, incrementa en las arepas con mezclas de quinua y ajonjolí, tal como se presentó en el caso anterior con la fibra, reportando un contenido de cenizas del 4.188% para la arepa de ajonjolí queso, seguido de la arepa de quinua queso con un 3.151% y de arepa con queso con un 2.936%. El contenido de minerales, materia orgánica y microelementos, favorece el cumplimiento de funciones metabólicas importantes en el organismo del consumidor (Marquez, 2014).

### 3.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Con base en la normativa mencionada, se determinó la presencia y ausencia de cada uno de los microorganismos evaluados, tanto en las materias primas como en el producto final, como se muestra en los cuadros 4 y 5.

Cuadro 4. Análisis microbiológico de las materias primas

Parámetro analizado	Queso		Masa maíz	
	Valor obtenido (UFC/g)	Valor referenciado (UFC/g)	Valor obtenido (UFC/g)	Valor referenciado (UFC/g)
Coliformes (P1)	Positivo	1000	Ausente	< 10
Salmonella (P1)	Positivo	Ausente	Ausente	Ausente
Coliformes (P2)	Negativo	1000	_____	_____
Salmonella (P2)	Negativo	Ausente	_____	_____
Mesófilos	5,003	_____	3,929	_____
Hongos y levaduras	3,477	500	0	1000
<i>Bacillus Cereus</i>	0	_____	0	100
Estafilococos	3,337	100	2,580	<100

Para el análisis microbiológico del producto terminado se obtuvieron los resultados presentes en el cuadro 5, donde se evidencia la evaluación de cada una de las arepas, al

día cero y a los 15 días, para observar la proliferación de microorganismos en el producto final.

Cuadro 5. Análisis microbiológico de las arepas

Tiempo	Tipo de arepa	Arepa con queso		Arepa quinoa queso		Arepa ajonjolí queso	
	Parámetro analizado	Valor obtenido (UFC/g)	Valor referenciado (UFC/g)	Valor obtenido (UFC/g)	Valor referenciado (UFC/g)	Valor obtenido (UFC/g)	Valor referenciado (UFC/g)
DIA 0	Coliformes Totales	Positivo	Ausente	Positivo	Ausente	Positivo	Ausente
	Salmonella	Positivo	Ausente	Positivo	Ausente	Positivo	Ausente
	Mesófilos	4,445	1000	4,819	1000	3,787	1000
	Hongos y levaduras	1,408	100	1,742	100	1,843	100
	<i>Bacillus Cereus</i>	—	100	1,909	100	2,041	100
	Estafilococos	3,398	100	2,661	100	—	100
DIA 15	Coliformes totales (P2)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	Salmonella	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	Hongos y levaduras	0	100	0	100	0	100
	Estafilococos	0	100	0	100	0	100

Los resultados obtenidos a partir de la caracterización microbiológica de los tres tipos de arepas (con queso, con quinua queso y con ajonjolí queso) se muestran en el cuadro 5, en donde se evidencia la presencia de coliformes y salmonella en el queso (NTC 750-queso fresco), por lo cual se procedió a realizar un cambio de proveedor para mejorar la calidad de los productos ofrecidos. Por su parte, la masa de maíz (NTC-3594 masa maíz) no presentó presencia de coliformes y Salmonella. En cuanto a la evaluación de Mesófilos, Hongos y levaduras, *Bacillus Cereus* y Estafilococos, se obtuvieron resultados dentro del rango de la normativa legal vigente (NTC 5372-Arepas de maíz refrigeradas), de la siguiente manera: el conteo para hongos y levaduras debe estar por debajo de 500 UFC/g para queso y 1000 UFC/g para la masa, obteniendo para 3.477 UFC/g y 0 UFC/g para queso y masa, respectivamente; para Estafilococos, la norma permite < 100 UFC en ambos casos, obteniendo 3.337 y 2.580 UFC/g para queso y masa, respectivamente; para *Bacillus Cereus*, los valores obtenidos fueron 0 UFC/g para ambas materias primas, mientras que el conteo de mesófilos fue de 5.003 UFC/g para queso y 3.929 UFC/g para la masa.

A raíz de los resultados obtenidos en las pruebas de coliformes y Salmonella en el queso, se realizó un cambio de proveedor, realizando nuevamente las pruebas para verificar la calidad del producto. Los resultados fueron favorables, pues estuvieron ausentes.

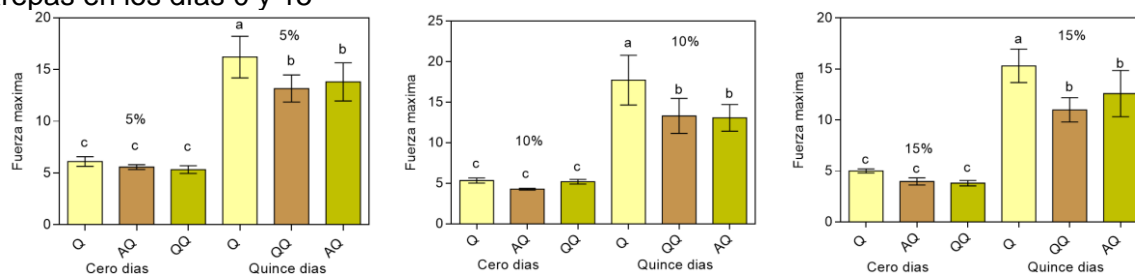
### 3.4 ANÁLISIS REOLÓGICOS

**3.4.1 Propiedades de textura a grandes deformaciones.** Las muestras analizadas fueron arepas con queso (Q), quinua queso (QQ), ajonjolí queso (AQ) al 5%,10% y 15% de

humedad, con las cuales se realizó un análisis estadístico de ANOVA doble vía para los días 0 y 15 (Anexo C). Se observó que el tiempo tiene un efecto directo en la dureza de las masas (Anexo D) y especialmente en el factor de humedad, tal como se observa en la figura 8; el análisis arrojó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), cambio que se le atribuye al agua, ya que esta influye en las características texturales de la masa de maíz a determinados contenidos de humedad (5%, 10%, 15%) debido a que actúa como un plastificante que depende directamente de la capacidad que tiene el almidón para retener agua (Saavedra, 2017). La influencia del agua en la estructura y la textura de la arepa es bien conocida; en presencia de proteínas disueltas o almidones gelificados, las propiedades como la dureza, masticabilidad y recuperación crecen exponencialmente ante la disminución de humedad. Asimismo, otras propiedades como la adhesividad, cohesividad y elasticidad tienden a aumentar a medida que se incrementa la cantidad de agua presente en el alimento (Shafiq *et al.*, 2005).

En el día 0 se tiene el efecto de la formulación en las columnas y de la humedad en las filas (Anexo D), que tienen un efecto directo en la dureza de la masa, pero que se va perdiendo durante el tiempo de vida útil. Al compararlo con los resultados del día 15, el efecto de interacción desaparece y el de la humedad va perdiendo significancia, porque el almidón empieza a retrogradar y a endurecerse: al retrogradar se libera el agua que fue atrapada durante la gelatinización y se empieza a evaporar por lo que la masa va perdiendo la humedad. Un caso similar es reportado por Rodríguez-Sandoval, Cuvelier y Fernández-Quintero (2007), cuando encontraron que la dureza de masas reconstituidas de harina de yuca que se evaluaron utilizando un analizador de textura, junto con trozos de parénquima de yuca procesados a diferentes condiciones de cocción y almacenados a baja temperatura ( $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) por 24 h, se emplearon para elaborar las harinas. Cuando la temperatura en el período de almacenamiento del parénquima cocinado disminuyó de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la dureza de la masa aumentó significativamente. Se concluye que la temperatura en el período de reposo del parénquima cocinado es el factor más importante que afecta las propiedades texturales de la masa de yuca.

Figura 8. Comparación doble vía de los resultados obtenidos en la prueba de textura de las arepas en los días 0 y 15



La textura es uno de los atributos primarios que junto con el color, sabor y olor, conforman la calidad sensorial de los alimentos; es la característica de calidad más apreciada por el consumidor. El análisis del perfil de textura es un procedimiento instrumental, que consiste en someter muestras de un producto a una prueba de doble compresión respecto a su altura inicial, simulando el esfuerzo de la mandíbula al morder, sin llegar a romper la matriz del



alimento; la magnitud de los parámetros medidos está influenciada por la tasa de deformación y por tanto puedan proveer información objetiva y confiable bajo condiciones estandarizadas (Torres *et al.*, 2015).

Siendo el almidón es el principal componente de los cereales, es importante estudiar los cambios que sufre durante el procesamiento, ya que es el responsable de las propiedades texturales y organolépticas de la masa y del producto final después de la cocción. Una de las etapas características del proceso comercial, es que la masa pueda formarse de manera uniforme, que sea cohesiva y elástica pero no sea pegajosa (Pflugfelder, Rooney y Waniska, 1988). Los factores más relevantes que afectan la reología y la textura de la masa son las condiciones de proceso durante su formación, sus constituyentes y la interacción que exista entre ellos.

**3.4.2 Ensayos de Creep and Recovery.** Las propiedades reológicas de las masas evaluadas de los tres tipos de arepas, son gobernadas en gran medida por el aporte de almidón, proteína y agua (Rosell, 2011).

*Creep* compliance, estudia la relación deformación-tiempo, donde la muestra fue sometida a un esfuerzo constante y se midió su deformación respecto al tiempo. En la fase de *creep* compliance se mide la deformación relativa. La mayoría de los alimentos sólidos presentan un comportamiento que obedece al modelo de Burger definido por la ecuación 7.

$$J_c(t) = J_0 + J_1(1 - \exp(-\frac{t}{\lambda_1})) + J_2(1 - \exp(-\frac{t}{\lambda_2})) + \frac{t}{\mu_0} \quad (\text{Ec. 7})$$

En la figura 9 se muestran los resultados de análisis de *creep and recovery*, de las muestras ajonjolí con 10% de humectación (A) en el día 0 y (B) en el día 15; se pudieron identificar diferentes las zonas A, B, C, D:

La zona AB representa el comportamiento puramente elástico, definida por un elemento elástico ( $J_0$ ); la zona BC describe el comportamiento de elasticidad retardada y parte del comportamiento viscoso o de flujo Newtoniano. La zona D representa la relajación que estudia la relación tensión-tiempo, donde se aplica una deformación constante y se mide la relajación del esfuerzo con respecto al tiempo (Iuga *et al.*, 2019).

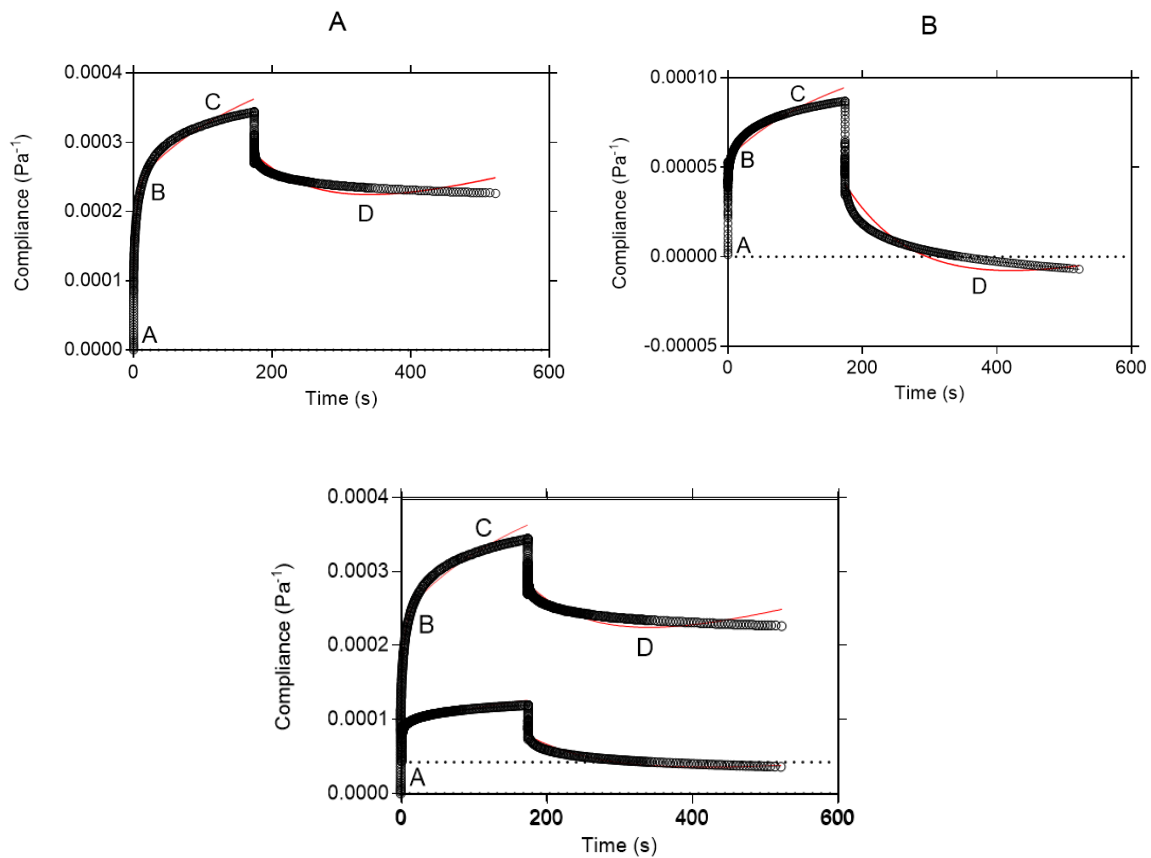
Cuando los alimentos sólidos son sometidos a pruebas de *creep*, los modelos que mejor describen su comportamiento son el de Burgers y Maxwell. En el cuadro 6 se muestran los parámetros del modelo de Burgers que ajustaron los datos experimentales; aquí se aprecia en la fase de *Creep* en el día 0, que  $J_1$  (compliance) en las muestras de AQ-Q con 5% y QQ con 10% de humectación, son bajos, reflejando una menor deformación instantánea cuando se aplicó el esfuerzo, con  $\lambda_1$  (tiempo de retardo)  $>5$ . El valor máximo de la capacitancia durante el *creep* ( $J_0$ ) está relacionado con la estructura interna del material de



la muestra. Los resultados de este parámetro indicaron valores pequeños, asociados a la estructura interna más estable de la muestra, siendo más estable ya que el componente elástico predomina frente al viscoso (Castells, 2019).

De acuerdo con Ishihara *et al.* (2011) y Sharma *et al.* (2017), un menor valor de este parámetro, indica una mayor contribución del componente elástico. Se puede contribuir a aumentar la heterogeneidad estructural del material, lo que puede resaltar en un alimento más fácil de tragar al reducir, por ejemplo, la miscibilidad de este con la saliva.

Figura 9. Curva de *creep and recovery* de la muestra de ajonjolí con 10% de humectación; en la parte superior (A) se encuentra la muestra en día 0, en la parte inferior (B) la muestra en día 15. La línea de color rojo identifica el ajuste del modelo de Burgers y la línea de círculos negros son los datos experimentales obtenidos modelados



En la determinación de *creep* de fluencia, se impone un esfuerzo cortante en cada una de las muestras analizadas y se registra la deformación o tensión de las muestras en función del tiempo. En la fase de recuperación se elimina el esfuerzo cortante y se deja que la muestra recupere la parte elástica de la deformación. Los resultados del ensayo de deformación (*creep*) se ajustaron al Modelo de Burgers de cuatro parámetros en términos

de capacitancia mecánica (Lazaridou *et al.*, 2007; Van Bockstaele *et al.*, 2011; Ronda *et al.*, 2013).

$$J_c(t) = J_0 + J_1(1 - \exp(-\frac{t}{\lambda_1})) + \frac{t}{\mu_0} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde  $J_0$ , es la capacitancia elástica instantánea,  $J_1$  es la capacitancia elástica retardada, y  $\lambda_1$  es el tiempo de retardo.

Las muestras analizadas fueron arepas con Queso (Q), Quinoa queso (QQ), Ajonjolí queso (AQ) con concentraciones de (5%, 10%, 15%) de humedad. Los resultados mostraron que  $\lambda_1$  fue afectada significativamente ( $p < 0,05$ ) por la humedad y la formulación; a su vez, se observa un efecto de interacción entre estos dos factores. A partir de estos ensayos y ajustando los resultados al modelo de Burgers, se obtuvieron los valores de los parámetros que se recogen en el cuadro 6. Se encontró una correlación entre los parámetros de capacidad elástica/deformación en la fase de *creep* y los equivalentes de la fase de relajación *recovery*.

Cuadro 6. Valores de capacidad de deformación y de relajación del ensayo de deformación hecho en las muestras masa de maíz con queso, quinoa y ajonjolí

Fase <i>Creep</i> , día 0							
Muestra	$J_0$	$J_1$	$J_2$	$\lambda$	$R^2$	G	N
Q 5%	0,00004	0,00003	0,0000	6,3±0,3	0,93	24703,6	156029,2
Q 10%	0,00039	0,00053	0,0003	4±0,2	0,76	3706,4	14301,2
Q 15%	0,00011	0,00006	0,0001	3,2±0,2	0,86	10656,4	34133,6
AQ 5%	0,00003	0,00001	0,0000	5,3±3	0,90	53050,4	279442,4
AQ 10%	0,00013	0,00013	0,0001	4,0±0,2	0,95	10023,1	39987,4
AQ 15%	0,00011	0,00017	0,0001	2,4±0,1	0,94	9191,2	21760,3
QQ 5%	0,00010	0,00007	0,0001	3,1±0,2	0,89	8116,9	25467,3
QQ 10%	0,00004	0,00004	0,0001	6±0,3	0,95	16661,1	96497,5
QQ 15%	0,00028	0,00010	0,0001	19,0±1	0,99	10675,8	202460,8

$J_0$ : compliance,  $J_1$ :retarded elastic compliance or viscoelastic compliances,  $\lambda_1$ : tiempo de retardo, Q arepa con queso, AQ: arepa ajonjolí queso, QQ: arepa quinoa queso

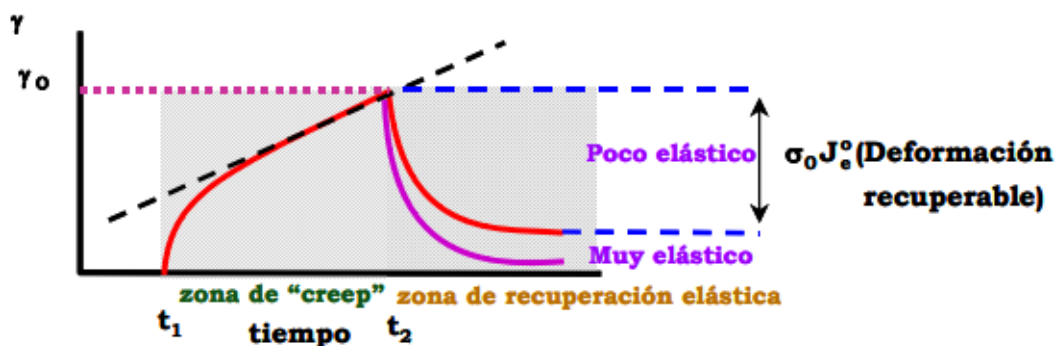
Para la muestra QQ 15%, se encuentra un valor de  $\lambda_1$  elevado (19,0 s) (Cuadro 6), hecho causado por una viscosidad elevada en la muestra, que genera una mayor resistencia a la deformación. La muestra que mejor se ajustó al modelo fue QQ 15% con un ( $R^2 = 0,99$ ), con un  $\lambda_1$  de 19, siendo el más elevado dentro de ese parámetro.

La figura 9 (A) muestra el comportamiento de las masas en *creep* en el día 0; se puede apreciar que las propiedades reológicas dependen de la capacidad que tiene el almidón para retener agua, debido a que el grano de maíz pasó por un proceso térmico, de remojo y de molienda húmeda, donde los gránulos de almidón presentes se encuentran fragmentados o enteros; luego del mezclado y el reposo de la masa, se genera una

gelatinización parcial del gránulo (Enríquez, 2019), proceso que afectó directamente la variable de respuesta  $\lambda_1$ ; QQ 15% incremento  $\lambda_1$  respecto a las otras muestras, reflejando una mayor resistencia a la deformación, obteniendo un valor que oscila entre 20 y 15 segundos. En este caso, el aumento en el  $\lambda_1$  es atribuido a que la muestra presenta mayor viscosidad, debido a la formulación de ese tipo de arepa y a la adición de proteínas presentes en el grano de quinua; además, se ha reportado que la masa de maíz pertenece a un grupo de materiales viscoelásticos, en el cual un alto grado de viscosidad y plasticidad se combina con una considerable elasticidad (Wang y Sun, 2002).

Basado en los resultados de Van Bockstaele *et al.* (2011), se relacionó el comportamiento obtenido en los días 0 y 15, donde se evidencia que en el inicio el comportamiento es de una muestra muy elástica, comparativamente con la muestra después de los 15 días, donde hubo una pérdida de elasticidad, aumentando el parámetro de ( $n$ ) viscosidad en las muestras (Figura 10).

Figura 10. Comportamiento *creep and recovery*

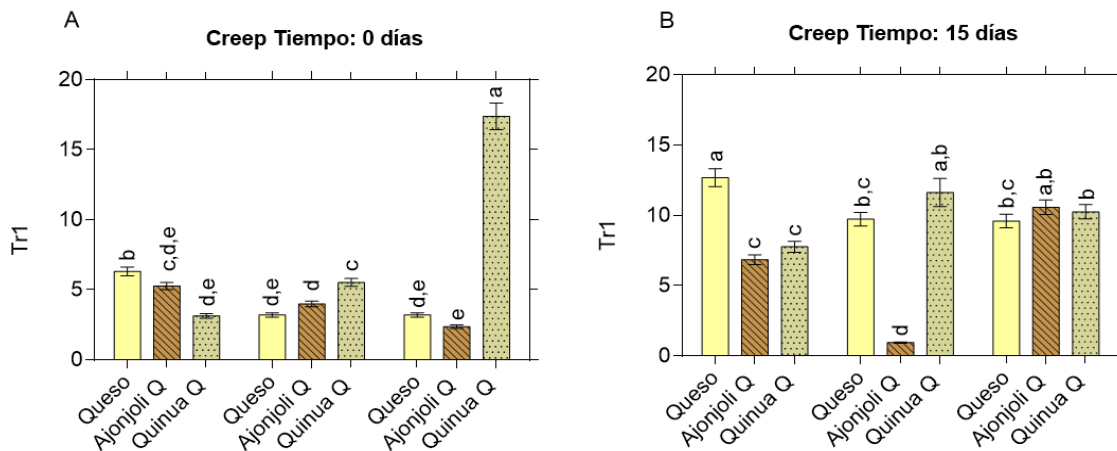


Las propiedades del almidón definen en gran manera las características de los productos dependiendo de las condiciones, El comportamiento de este polímero durante el procesamiento ha sido descrito como viscoelástico; sin embargo, en granos enteros de maíz existen otros componentes no almidonosos que pueden afectarlo. El tamaño de partícula de la masa de maíz causa incremento en la viscosidad (Jozinović *et al.* 2012).

La hidratación del grano previa a la cocción y la posterior humectación que recibe la masa para cada tipo de arepa, produce un incremento en la fuerza; por lo tanto, se desarrolla la cohesividad en la masa y alcanza una máxima consistencia. En el caso de este tipo de muestra, Quinoa queso con 15%, cuenta con alta capacidad de absorción de agua, ya que este índice se relaciona con el grado de gelatinización del almidón produciendo masa gruesa ligada al incremento de la viscosidad y esta, a su vez, incrementando el  $\lambda_1$  generando mayor resistencia. Además, el efecto que produce el uso de calor combinado con la aplicación de esfuerzos mecánicos, debilita la estructura de los gránulos de almidón, lo cual favorece la gelatinización y aumenta la capacidad de absorción de agua (von Borries-Medrano *et al.*, 2018; Alam *et al.* 2016). Otro factor que se debe considerar es el contenido de humedad usado en las formulaciones.

La muestra de ajonjolí queso con el 15% de humectación (figura 11 A) se presenta un  $\lambda_1$  corto, reflejando una deformación más rápida evidenciando una disminución de la viscosidad y una presencia de elasticidad, se puede observar un  $\lambda_1 > 5$ , en las muestras queso y ajonjolí con 5% y quinua queso con 10% de humectación.

Figura 11. Test de la fase de *Creep*, (A) análisis de la variable de respuesta  $\lambda_1$  en el tiempo inicial en las muestras de cada tipo de arepa con 5, 10 y 15% de humedad para cada una; y (B) para los 15 días de almacenamiento en congelación



Tras un proceso de conservación en congelación de 15 días de los tres tipos de arepas, estas fueron acondicionadas para un posterior test de *creep*. Se encuentra un resumen estadístico (Ver anexo E) de la prueba, donde se aprecia una diferencia significativa en la interacción de las muestras y también en el efecto de la formulación de cada tipo de arepa; respecto al efecto que presenta los porcentajes de agua, a pesar de que presenta diferencia significativa, su nivel de importancia es casi nulo.

En el caso de las muestras con 15 días de almacenamiento en condiciones de congelación, se observa un cambio en la fase de *Creep* (figura 11 B), donde se resalta el comportamiento de la muestra de ajonjolí 10% que disminuye el  $\lambda_1$  aumentando su elasticidad, pero disminuyendo su viscosidad por una posible retrogradación del almidón presente en la masa de maíz, debido a que la retrogradación del almidón puede progresar más rápidamente durante condiciones de almacenamiento (Tejedor, 2018); en el caso de la muestra de quinua queso 15%, disminuyó el  $\lambda_1$  a aproximadamente 10 s, y en el caso de las demás muestras se observa que el  $\lambda_1$  aumentó, incrementando su viscosidad a excepción de la muestra ya mencionada de Ajonjolí 10%, que sufre un cambio fuerte en el transcurso de su almacenamiento.

Para las muestras que evidenciaron una disminución en  $\lambda_1$  por el fenómeno de retrogradación, la causa principal radica en la interacción del almidón con lípidos y proteínas, presentes en los demás componentes de las arepas (Enríquez, 2019).

El comportamiento que refleja la fase de *creep* a los 15 días, da como resultado un comportamiento viscoelástico por parte de la mayoría de las muestras; una propiedad mixta. En el cuadro 7 se muestran los parámetros obtenidos de la fase de *creep* a los 15 días, con un valor de  $\lambda_1$  de 0.9339 s, más bajo que se presentó en la muestra ajonjolí 10%; dicha muestra disminuye su viscosidad debido a la retrogradación ocurrida en el almacenamiento.

Las muestras al día 15 mostraron un ajuste al modelo en promedio ( $R^2= 0,96$ ), respecto a los demás  $\lambda_1$ ; se aprecia una tendencia a estabilizar este parámetro, haciendo que el proceso de retrogradación sea más lento.

Cuadro 7. Parámetros obtenidos en el test *Creep* día 15 de las muestras Q, AQ, QQ con 5-10-15% de humectación

Fase <i>Creep</i> día 15							
Muestra	$J_0$	$J_1$	$J_2$	$\lambda_1$	$R^2$	G	n
Q 5%	0,0000306	0,0001199	0,00004246	13±1	0,99	23551,6	298471,5
Q 10%	0,0000579	0,0001548	0,00003893	10±0,5	0,97	25687,1	249780,1
Q 15%	0,0000204	0,00004377	0,00002412	10±0,5	0,98	41459,4	397713,9
AQ 5%	0,0000378	0,00004985	0,00004052	7±0,4	0,96	24679,2	168814,2
AQ 10%	0,0000422	0,00001263	0,00003402	1±0,1	0,83	29394,5	27452,1
AQ 15%	0,0000333	0,0000855	0,00004312	11±0,1	0,99	23191,1	245266,7
QQ 5%	0,0000191	0,00003111	0,00002272	8±0,4	0,97	44014,1	341455,1
QQ 10%	0,00000885	0,00001701	0,00001148	12±1	0,99	87108,0	1012587,1
QQ 15%	0,0000121	0,00003049	0,00001525	10±1	0,99	65573,8	672013,1

$J_0$ : compliance,  $J_1$ :retarded elastic compliance or viscoelastic compliances,  $\lambda_1$ : tiempo de retardo, Q arepa con queso, AQ: arepa ajonjolí queso, QQ: arepa quinua queso

En la fase de recuperación o relajación (*Recovery*) del día 0, se obtuvieron resultados que se ajustaron al modelo Burgers, obteniéndose los valores de los parámetros de ajuste que se recogen en el cuadro 8, donde se determinó el  $\lambda_1$ , con tiempos de retardo aumentados para la mayoría de las muestras, especialmente para las de queso- ajonjolí 5%, ajonjolí-quinua 10 y ajonjolí 15% con valores entre 17.4 y 20.4 s. Este aumento indica una mayor viscosidad ( $n_1$ ) en las muestras en fase de recuperación. En la muestra de queso con 10%, se evidencia un  $\lambda_1$  bajo, indicando una mayor elasticidad en esa muestra.

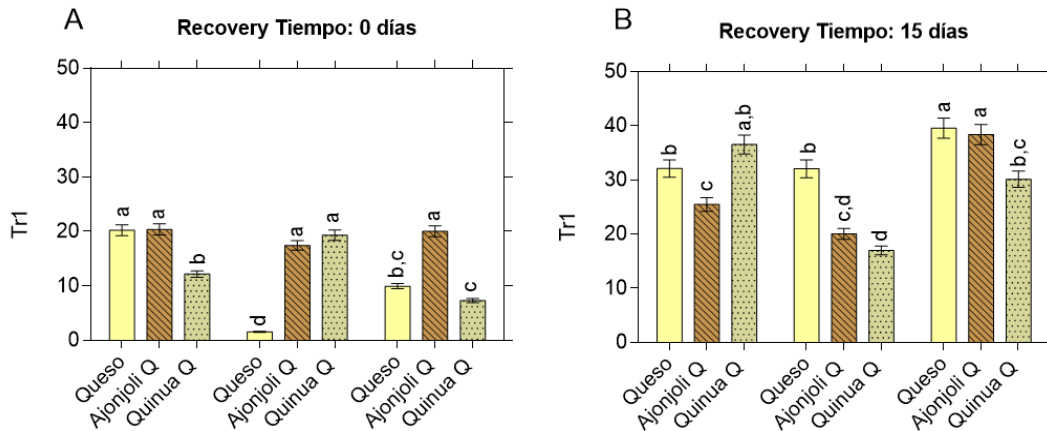
Cuadro 8. Parámetros de ajuste de la fase *recovery* del día 0, de las muestras Q,AQ,QQ con 5-10-15% de humectación

Muestra	$G_0$	$G_1$	$n_1$	$\lambda_1 \pm ds$	$R^2$
Q 5%	30983,0	34311,0	693986,0	20,2±1	0,82
Q 10%	6567,0	4898,0	7668,0	2±0,1	0,75
Q 15%	13390,0	16175,0	160897,0	10±1	0,75
AQ 5%	37085,0	39730,0	809276,0	20,4±1	0,82
AQ 10%	18219,0	19556,0	341017,0	17,4±1	0,80
AQ 15%	19275,0	19568,0	392050,0	20,0±1	0,81
QQ 5%	21733,0	27135,0	330698,0	12,2±1	0,77
QQ 10%	29133,0	30381,0	586902,0	19,3±1	0,82
QQ 15%	7226,0	7770,0	56742,0	7,3±0,4	0,74

El comportamiento de relajación de las muestras a través del tiempo de almacenamiento en congelación por 15 días, muestra un incremento de  $\lambda_1$  (Cuadro 9) con los resultados de los parámetros de ajuste de la fase *recovery* en tiempo 15 días, en las muestras Q-QQ-AQ (figura 9-B) el  $\lambda_1$  de las muestras aumentaron significativamente, el cambio se ve directamente sobre la muestra de Q10% la cual aumenta su viscosidad en el transcurso de su almacenamiento, con un  $\lambda_1$  de 32,087 (Cuadro 9) en las muestras de ajonjolí y quinua con 10% el cambio es muy mínimo, respecto a  $\lambda_1$ .

En las curvas de relajación que se observan en la figura 9 y en el anexo F (ambas figuras), se encontró que el módulo de elasticidad disminuye su valor a medida que el tiempo de almacenamiento en congelación avanza, lo cual es característico de un material viscoelástico (Larrosa *et al.*, 2015). Cabe resaltar que la estructura porosa y multi composicional que posee el maíz, hace compleja la predicción de su comportamiento viscoelástico a través del tiempo de almacenamiento, pues la gran mayoría de los materiales viscoelásticos en los que se incluyen los materiales biológicos, como los alimentos, no se refleja con una velocidad uniforme, sino que lo hacen en distintas etapas con tiempos de relajación diferentes (Dzadz *et al.*, 2015; Lorenzo *et al.*, 2015). En el anexo F se aprecia la diferencia entre las fases *creep and recovery* en el día 0 y en día 15.

Figura 12. Test de la fase de *Recovery*, (A) análisis de la variable de respuesta  $\lambda_1$  en día 0 en las muestras Q, AQ, QQ con 5%, 10%, 15% de humedad para cada una; (B) para los 15 días de almacenamiento en congelación



Cuadro 9. Parámetros de ajuste de la fase *recovery* del día 15, de las muestras Q,AQ,QQ con 5-10-15% de humectación

Fase <i>Recovery</i> día 15					
Muestra	G0	G1	n1	$\lambda_1$	R <sup>2</sup>
Q 5%	42444	24283	780180	32,1±2	0,93
Q 10%	21551	14637	469659	32,1±3	0,90
Q 15%	59926	30595	1211000	40±2	0,94
AQ 5%	34622	27832	709439	26±1,2	0,88
AQ 10%	24113	23358	468951	20,1±1	0,84
AQ 15%	38578	19769	758861	38,4±2	0,93

Cuadro 9. (Continuación)

Fase <i>Recovery</i> día 15					
Muestra	G0	G1	n1	$\lambda_1$	R <sup>2</sup>
QQ 5%	71989	43670	1597000	37±2	0,93
QQ 10%	146916	117633	1999000	17±1	0,92
QQ15%	97938	68783	2073000	30,1±2	0,93

En el estudio de las propiedades reológicas de las muestras de las arepas también se miden las propiedades del almidón, ya que este experimenta gelatinización y retrogradación de su estructura, como se evidenció en el día 0 de las muestras, mientras que en el día 15 de almacenamiento se experimentó un cambio en el parámetro de estudio  $\lambda_1$  y su relación directa con la deformación del material. La observación de estos cambios, permitió monitorear el incremento en la rigidez de la muestra y de esta forma su relación con los atributos sensoriales, texturales y nutricionales; debido a que la calidad del producto involucra estos atributos y hacen parte de la aceptabilidad del consumidor.

Resultaría interesante relacionar los parámetros obtenidos de las pruebas de *creep and recovery* con parámetros de pruebas como perfil de textura.

**3.4.3 Propiedades de flujo.** Factores como el tipo de material y su composición, entre otros, influyen en la selección del modelo reológico usado para describir el flujo de partículas; muchos modelos se han utilizado para representar la conducta de flujo de fluidos no Newtonianos entre estos se encuentra la ley de potencia y modelo de Herschel-Bulkley. En este caso, el modelo utilizado fue la ley de la potencia, en donde, si  $n < 1$ , el fluido es pseudoplástico y dilatante en caso contrario (Ramírez, 2006).

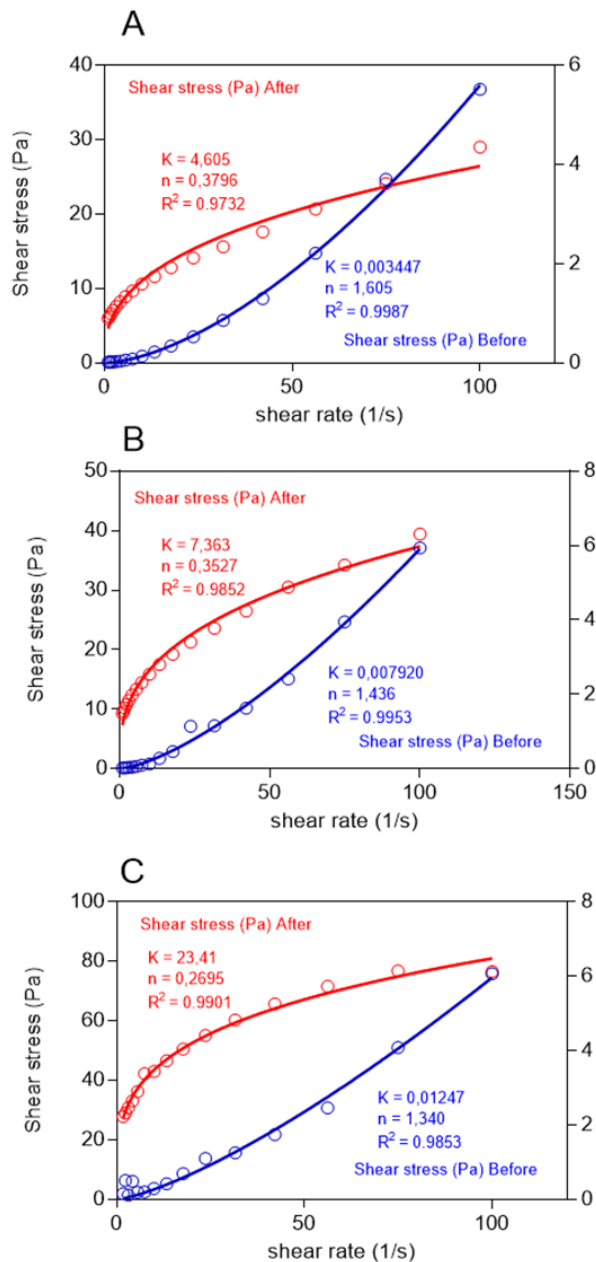
La figura 13 muestra el comportamiento de la viscosidad antes (línea azul) y después (línea roja) del ciclo de calentamiento/enfriamiento a diferentes condiciones de estrés (shear stress, Pa) y velocidad de cizalla (shear rate, s<sup>-1</sup>). Además, muestra los coeficientes obtenidos por regresión del modelo de la potencia (Ecuación 4) donde (n) es el índice de flujo, (k) la consistencia y R<sup>2</sup> el ajuste estadístico. Las dispersiones se sometieron a una variación en la velocidad de cizalla desde 0 s<sup>-1</sup> a 300 s<sup>-1</sup> y se observó el efecto de la velocidad de corte en la viscosidad.

En la misma figura se presenta el comportamiento de la viscosidad de las tres mezclas de arepas antes del ciclo de calentamiento/enfriamiento, donde los puntos rojos representan el ciclo de la mezcla después de calentamiento, indicando que es un fluido pseudoplástico, ya que cada uno de los valores de n son menores a 1, y los puntos azules representan el comportamiento de la mezcla después del ciclo de calentamiento, indicando que es un fluido dilatante, ya que cada uno de los valores de n son mayores a 1. La viscosidad de la mezcla va disminuyendo con el gradiente de velocidad de cizalla, tal como se muestra en la gráfica, al aumentar la fuerza la velocidad de cizalla también aumenta la viscosidad, por lo que la viscosidad aparente disminuye al aumentar la velocidad de cizalla (Mott, 2006). Para describir de una manera más detallada lo que sucede en este sistema, se tiene que



las moléculas dispersas en reposo de la mezcla se hallan entrelazadas unas con otras y las partículas en suspensión ocupan posiciones distribuidas al azar a causa del movimiento de agitación térmica de las mismas. Cuando tiene lugar una agitación progresiva en el seno del sistema, las cadenas poliméricas se desenredan y las partículas se alinean a lo largo de líneas de corriente. Todo ello da lugar, en definitiva, a un decrecimiento de la fricción interna y, por tanto, de la viscosidad aparente del sistema (Mott, 2006).

Figura 13. Efecto de la velocidad de cizalla sobre el índice de flujo y la consistencia de las dispersiones de las mezclas de arepas A) Ajonjolí queso, B) Quinoa queso, C) Solo queso



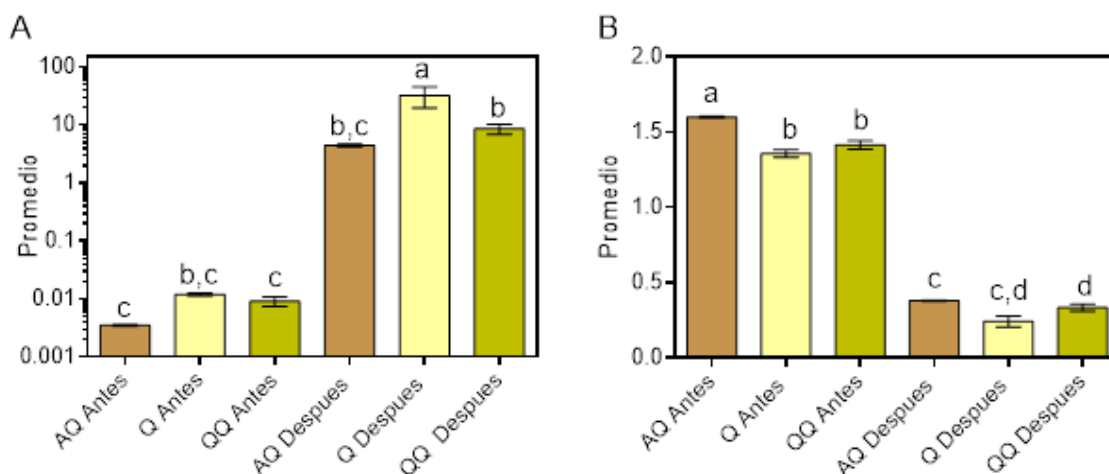


Por otra parte, en la curva de los puntos azules, al contrario de lo que ocurre en la curva de puntos rojos, un aumento de la fuerza da lugar a un aumento proporcionalmente menor de la velocidad de cizalla. Es decir, la viscosidad aparente aumenta al aumentar la velocidad de cizalla. Este comportamiento está atribuido a los fluidos conocidos como dilatantes (Gil, 2018). Lo que indica que, si la muestra se encuentra en reposo, el espacio existente entre las partículas ocupado por la fase líquida, es mínimo. A bajas velocidades de cizalla, la fricción entre las partículas es relativamente baja porque el líquido actúa como lubricante. Cuando se aumenta la velocidad de cizalla, el movimiento de unas partículas respecto a las otras incrementa el espacio entre ellas mismas y la fase líquida deja de ocupar totalmente. Esto causa un progresivo incremento de la fricción entre las partículas como consecuencia de una lubricación insuficiente. Por consiguiente, el comportamiento de un fluido dilatante puede explicarse como una consecuencia de su “dilatación” al incrementar la velocidad de cizalla (Ferguson y Kembrowski, 1991).

Un aspecto importante de este análisis es la consistencia ( $k$ ), que describe la propiedad de una sustancia, en este caso de la mezcla, que resiste un cambio permanente de forma (Wang *et al.*, 2019), dado que un aumento de  $k$  indica un aumento en la concentración de sólidos o disminución del tamaño de las partículas; es decir, si el valor de  $k$  es alto, el fluido es más viscoso y viceversa (Suárez *et al.*, 2015).

Los datos utilizados para el análisis estadístico mediante análisis ANOVA y test de Tukey indican que existe una diferencia significativa en cada uno de los valores arrojados, tanto para las variables  $K$  (figura 14A) como  $n$  (figura 14B) antes y después del calentamiento en cada una de las muestras analizadas (AQ) Ajonjolí queso, (QQ) Quinoa queso y (Q) queso. El análisis estadístico ANOVA de múltiple comparación, proporcionó como resultado que hay diferencia de viscosidades entre las mezclas. Se observa que existe una diferencia de estadística significativa ya que  $P < 0,05$ , en ambos casos (Ver Anexo G).

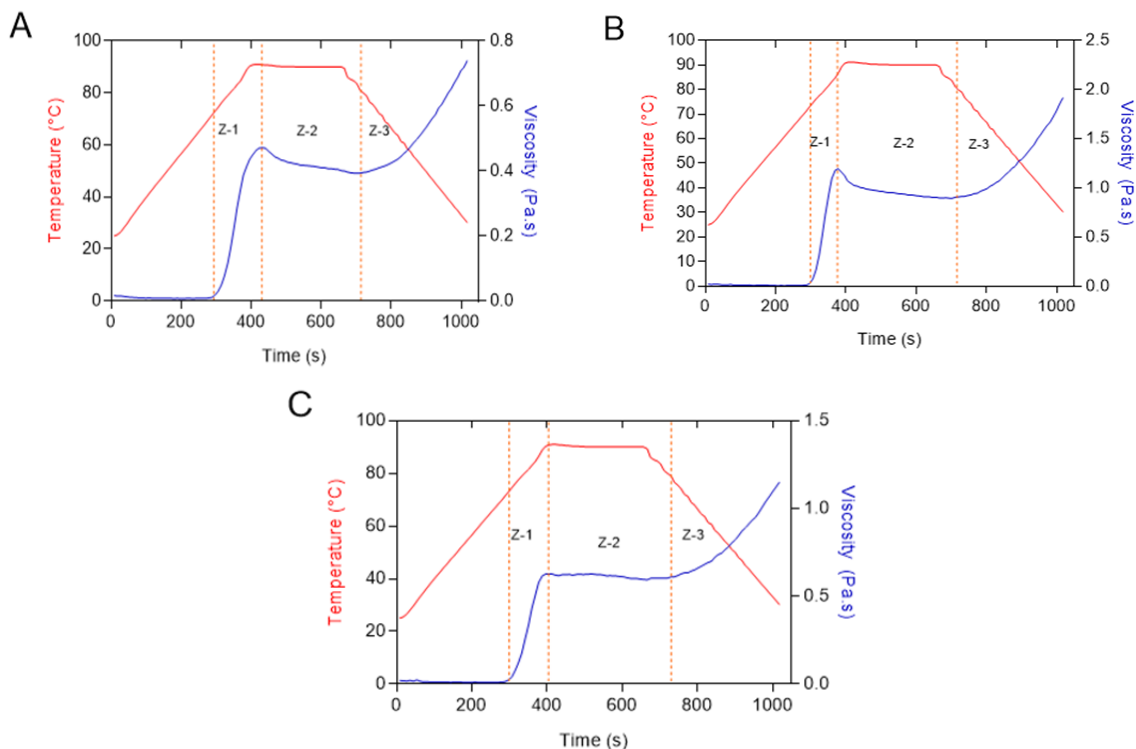
Figura 14. Análisis estadístico de las variables  $K$ (consistencia) y  $n$  (índice de flujo). A)  $K$  (consistencia), B) (índice de flujo). AQ (arepas ajonjolí queso), Q (arepas con queso), QQ (arepas quinua queso)



En la figura 14B el flujo cambia de dilatante a pseudoplástico, situación que se puede atribuir a la velocidad de corte, ya que en el caso del fluido dilatante la viscosidad aumenta con el aumento de la velocidad de corte y en el caso de los fluidos pseudoplásticos, la viscosidad disminuye con ese aumento de la velocidad de corte, por lo que, a medida que la velocidad de corte aumenta, el fluido que inicialmente era dilatante se convierte en pseudoplástico. Además, el aumento de la temperatura disminuye su viscosidad (Rico y Gomis, 2012).

**3.4.4 Perfil de viscosidad.** Se realizó el perfil de viscosidad para determinar la evolución de este parámetro durante las fases de calentamiento y enfriamiento; en la figura 15, se identifican las curvas de viscosidad dependientes del tiempo durante el calentamiento y enfriamiento de las dispersiones de la mezcla presente en cada una de las muestras (A Ajonjolí queso, B Queso y C Quinoa queso) con un programa de temperatura en tres etapas, la Z-1 representa el aumento de la viscosidad durante el calentamiento provocado por la gelatinización del almidón, mientras que la Z-2 representa el comportamiento de la mezcla cuando se mantiene una temperatura constante (relaciona la estabilidad del gel) y la Z-3 representa una gelificación fría del almidón con un aumento de la viscosidad durante la etapa de enfriamiento (Mezger, 2019).

Figura 15. Curva de viscosidad dependiente del tiempo durante el calentamiento y enfriamiento del almidón en cada una de las mezclas de arepas



En la Figura 15A se observa la curva de viscosidad de la mezcla de arepas de ajonjolí queso, que muestra que el pico máximo de viscosidad en la Z-1 de calentamiento (0.4639 Pa.s) se obtuvo en un rango de temperatura de 31°C hasta 46°C, en un intervalo de tiempo

entre 288.02s hasta 414.022s; desde ese punto descrito anteriormente, hasta una temperatura de 77°C, hasta un tiempo de 693.03s y una viscosidad de 0.3935 Pa.s se encuentra la Z-2, que es donde el almidón se encuentra en un proceso de cocción con una temperatura alta y constante; finalmente, la Z-3 está en un rango de temperatura desde 79°C hasta 112°C en un intervalo de tiempo desde los 711.03s hasta 1008.03s, con una viscosidad de 0.7199 Pa.s.

En la Figura 15B se observa la curva de viscosidad de la mezcla de arepas con queso, el pico máximo de viscosidad de la Z-1 se encuentra en un rango de temperatura desde los 32°C hasta los 41°C en un intervalo de tiempo desde 287.99s hasta 368.99s con una viscosidad de 1.179 Pa.s; la Z-2 abarca desde el punto descrito hasta una temperatura de 78°C, 702.018s con una viscosidad de 0.8953 Pa.s; finalmente, la Z-3 llega a una viscosidad de 1.857 Pa.s hasta un tiempo de 1008.02s a una temperatura de 112°C.

En la Figura 15C se observa la curva de viscosidad la mezcla de arepas con quinua queso, donde el pico máximo de viscosidad de la Z-1 se encuentra en un intervalo de tiempo desde los 297.02s hasta los 386.984s con temperaturas desde 33°C hasta 43°C y una viscosidad de 0.6168 Pa.s; la Z-2 llega desde el punto descrito hasta una temperatura de 79°C en un tiempo desde 386.984s hasta 710.996s, con una viscosidad de 0.6045 Pa.s; la Z-3 la viscosidad llega a 1.122 Pa.s con una temperatura de 112°C en un tiempo de 1008.0 segundos.

Cuadro 10. Aumento de la viscosidad en cada una de las muestras durante las fases de calentamiento y enfriamiento

Muestra	Viscosidad Z-1 (Pa.s)	Viscosidad Z-3 (Pa.s)
Queso	1.179	1.857
Quinua- Queso	0.6168	1.122
Ajonjolí- Queso	0.4639	0.7199

En el cuadro 10 se observa el incremento en la viscosidad presente, que se observó en las gráficas, y que puede atribuirse a la desnaturalización y desdoblamiento de la proteína presente en las muestras, la cual puede formar redes tipo gel con el agua y con los fragmentos de amilosa que son liberados luego de la gelatinización del almidón (Roa *et al.*, 2020); hay una leve recuperación de la viscosidad durante la etapa de enfriamiento, asociada a los procesos de retrogradación de la amilosa, fenómeno que ha sido ampliamente discutido en la literatura (Elsohaimy y Zaytoun, 2015; Motta y Zhang, 2019; Bala *et al.*, 2020). Hyun-Jung y Quian (2009) y Shifeng *et al.* (2009) mencionan que la amilosa es la principal responsable de la retrogradación, debido a que sus cadenas lineales se unen a través de puentes de hidrógeno, formando una malla que empieza a crecer o engrosarse conforme transcurre en tiempo de almacenamiento, por lo que, a mayor contenido de amilosa, mayor retrogradación.

Los picos máximos de viscosidad se encuentran entre 0.4639 Pa s (AQ), 0.6168 Pa. S (QQ) y 1.179 Pa s (Q). El aumento de la viscosidad (gelatinización del gránulo de almidón) se

produce durante el calentamiento. La diferencia en los picos de viscosidad se debe a la variación en la composición del almidón y la proteína en las harinas. En este caso, los datos coinciden con los resultados obtenidos en el análisis proximal, ya que según el cuadro 3, la mezcla de arepas con menor porcentaje de proteína es la arepa de queso (Q) con un 6.878% de proteína, seguido de la de quinua (QQ) con 8.055% y con ajonjolí (AQ) con un 11.519% de proteína, lo que nos indica que la mezcla con mayor porcentaje de proteína hace que el pico de viscosidad disminuya, ya que la proteína no tiene la capacidad de gelatinizarse como el almidón (Roa *et al.*, 2020).

La viscosidad final durante el enfriamiento en las dispersiones de harina (Q, QQ, AQ) puede ser visto en el cuadro 10 (Viscosidad Z-3 Pa.s). La harina de la mezcla de arepa con queso (Q) tiene un pico de viscosidad final de aproximadamente 0.7199 Pa.s; este bajo valor de viscosidad comparado con los otros valores de las mezclas de (AQ, QQ), se debe principalmente a la competencia entre el almidón y la proteína para capturar agua libre y formar enlaces con el agua durante el enfriamiento. El comportamiento reológico de la harina (AQ) no cambió mucho durante el calentamiento y enfriamiento, ya que esta harina tiene un porcentaje de proteína más alto en comparación con las otras mezclas, las cuales son más estables a estos procesos hidrotermales (Roa *et al.*, 2020).

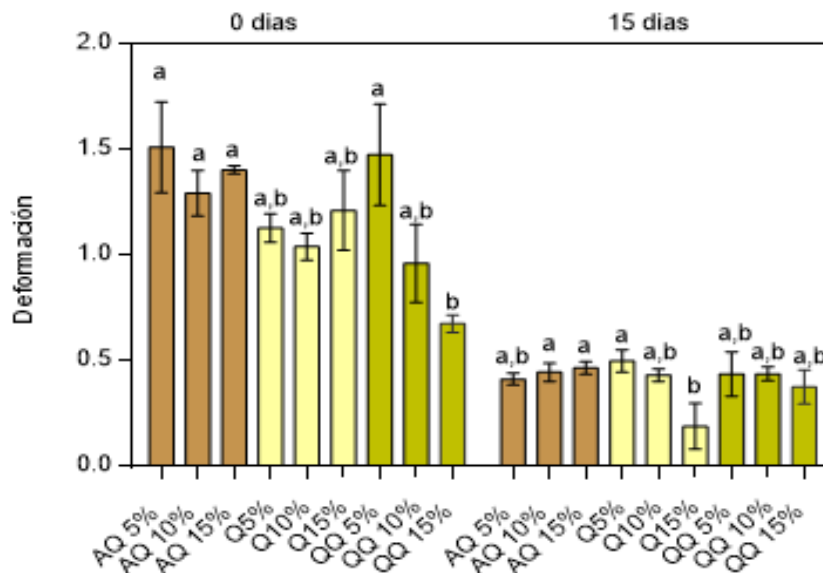
**3.4.5 Ensayo de compresión a pequeñas deformaciones.** Las pruebas de compresión influyen sustancialmente en la determinación de las propiedades mecánicas y otros aspectos de control de calidad del grano, ya que, por ejemplo, en sistemas en los que se maneja un flujo de granos, el comportamiento mecánico del material no solo debe centrarse en el flujo en sí, sino también en la deformación resultante de los granos individuales (Afkari y Minaei, 2004; Raji y Faier, 2004).

El modelo utilizado para el análisis de compresión, fue el de asociación de una fase mencionado, el cual arroja diferentes variables, entre ellas K que es directamente proporcional a la velocidad de deformación: si K es mayor, la velocidad de deformación es lenta y si K es menor, es más rápida; en la figura 16 se pueden observar diferencias en las velocidades de deformación en el día 0 y a los 15 días. De una manera más detallada, se puede decir que no hay una gran variedad en la velocidad de deformación (K) si se observa la población de manera general tanto para el día 0 como para los 15 días. En las muestras QQ se encontró que el efecto de la humedad influye en la velocidad de deformación es en las de Quinoa Queso 15% del día 0 y en la muestra de Queso 15% de los 15 días; ambas muestras pertenecen al grupo (b), lo que indica que el contenido de agua en la masa si ocasiona una pérdida, podría influir sobre la velocidad de deformación, posiblemente debido a la presencia de almidón en las semillas, en el caso de la muestra de Quinoa Queso, ya que como se mencionó en el análisis proximal, este es un gran retenedor de agua, lo que le da al alimento una mejor textura (Cázares, 2015).

En la estadística para la variable K en el día 0, se realizó un ANOVA y test de comparación múltiple Tukey; el resultado mostró un valor  $p = 0.0046$ , con un ajuste de  $R^2 = 0.8573$  (Ver anexo H), lo que indica que hay una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre las medias y las desviaciones estándares de cada una de las mediciones; para el análisis estadístico de la

variable K a los 15 días se realizaron las mismas pruebas, obteniendo como un valor de  $p=0.0309$  con un ajuste de  $R = 0.7726$  (Ver anexo H), lo que indica que se presentaron diferencias significativas entre las mediciones.

Figura 16. Comparación de la variable K (Velocidad de deformación) obtenida en el análisis de compresión en el día cero y en el día quince



El modelo también arroja la variable Plateau, que está asociada a la fuerza máxima en cada una de las pruebas realizadas; estas fuerzas máximas se presentan en el cuadro 11 y se comparan en la Figura 16 en los diferentes tiempos (0 y 15 días). Las fuerzas máximas aplicadas (Plateau) a cada una de las muestras, varían dependiendo el tipo de arepa que se evalúa; en el caso de las muestras de cero (0) días, se observa en el cuadro 11 que la fuerza máxima requerida es mucho menor respecto a las muestras con 15 días; en el caso de las muestras de 15 días, la masa ya ha sufrido un proceso de deshidratación donde la cohesión se va perdiendo, ya que el agua que está ligada es liberada. Esto significa que hay un endurecimiento en la estructura de la masa que conforma la arepa y este se ve incrementado considerablemente durante el almacenamiento, como se observa en la figura 16. El análisis estadístico dice que a los 15 días, la fuerza aplicada para la deformación de la muestra es mayor que en el día 0.

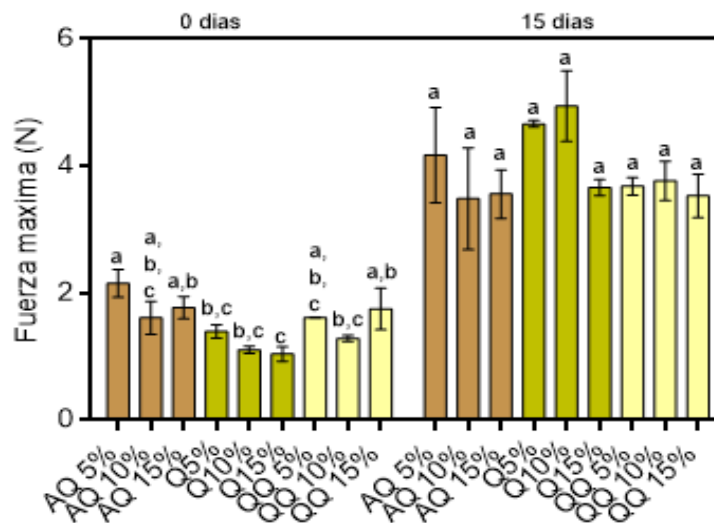
Cuadro 11. Fuerzas máximas aplicadas a cada una de las muestras en los días 0 y 15

Muestras	Fuerzas máximas aplicadas			
	0 días		15 días	
		□ ± ds		□ ± ds
AQ 5% r1	2,33939	2,2 ± 0,2	4,81665	4 ± 1
AQ 5% r2	2,12423		3,81404	
AQ 10% R1	1,51657	1,7 ± 0,3	3,064	4 ± 1
AQ 10% R2	1,90749		4,23627	

Cuadro 11. (Continuación)

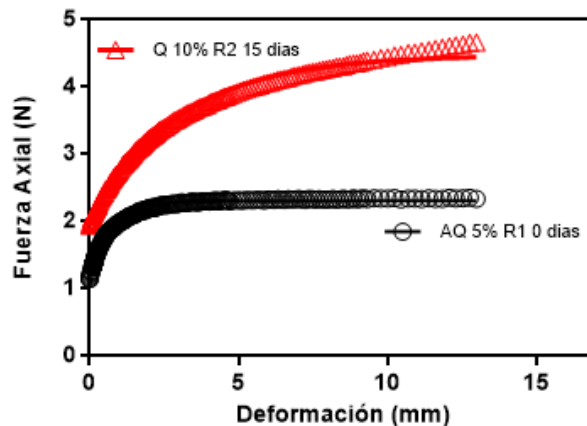
Muestras	Fuerzas máximas aplicadas			
	0 días		15 días	
		□ ± ds		□ ± ds
AQ15% R1	2,04909	1,9 ± 0,2	3,45202	3,7 ± 0,4
AQ 15% R2	1,77074		4,00319	
Q 5% R1	1,36319	1,5 ± 0,1	4,79826	4,79 ± 0,02
Q 5% R2	1,55831		4,77614	
Q 10% R1	1,17976	1,22 ± 0,05	5,4463	5,1 ± 0,5
Q 10% R2	1,25176		4,69387	
Q 15% R1	1,05514	1,1 ± 0,1	3,10796	3,4 ± 0,4
Q 15% R2	1,2407		3,69689	
QQ 5% R1	1,79539	1,74 ± 0,08	3,9712	3,9 ± 0,2
QQ 5% R2	1,6881		3,75583	
QQ 10% R1	1,36908	1,42 ± 0,07	4,16938	4,0 ± 0,3
QQ 10% R2	1,47295		3,77496	
QQ 15% R1	1,67846	1,9 ± 0,3	3,49086	3,7 ± 0,3
QQ 15% R2	2,10599		3,9567	

Figura 17. Análisis estadístico de la fuerza máxima aplicada (*Plateau*) en las muestras en los días 0 y 15



En la Figura 18 se observa la comparación entre la muestra de Q (arepa con queso) al 10% del día 15 y la muestra de Ajonjolí queso al 5% al día 0; a ambas se les aplicó la mayor fuerza para la deformación (Cuadro 11) en su correspondiente tiempo (0 y 15 días). Se observa que la muestra de 15 días requirió un mayor esfuerzo, debido al efecto de la formulación y a la pérdida de agua de la muestra. Esto se lo puede atribuir al efecto de retrogradación del almidón, que hace que las muestras pierdan humedad en su composición, lo que afecta sus propiedades texturales.

Figura 18. Comparación de la fuerza máxima aplicada (*Plateau*) para la deformación de dos muestras de arepas (Q 10% 15 días, AQ 5% 0 días)



Para la estadística de la fuerza máxima aplicada (*Plateau*) en el día 0, se realizó un ANOVA mediante el test de comparación múltiple de Tukey, cuyo resultado mostró un valor de  $p=0.0026$  con un ajuste de  $R=0.8776$ , y para la variable *Plateau* a los 15 días se obtuvo un valor de  $p=0.0815$  con un ajuste de  $R=0.7046$ , lo que indica también una diferencia significativa ( $p<0,05$ ), en cada una de las mediciones realizadas.

**3.4.6 Comportamiento viscoelástico.** Las propiedades viscoelásticas se caracterizaron mediante ensayos oscilatorios y *creep-recovery*. La región viscoelástica lineal (RLV) se determinó realizando un barrido de deformación; para determinar los límites del comportamiento viscoelástico lineal de las muestras (A), se procedió posteriormente a obtener un barrido de frecuencia, el cual indicó los cambios en el comportamiento elástico ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ) de la muestra.

Se efectuaron barridos de amplitud entre 0.1% y 2.0% de deformación a 25°C a frecuencia constante (1Hz) y se determinó la región viscoelástica lineal (RVL), obteniendo los límites del comportamiento, es decir, que la relación entre la fuerza aplicada y la deformación resultante sea solo una función del tiempo y no de la magnitud de la fuerza aplicada (Román, 2006).

En la figura 19A (1 y 2) se presenta la caracterización de las muestras de AQ 10% en el día 0, en función a la respuesta obtenida al aplicar esfuerzo o una deformación oscilatoria. Para un sólido, el esfuerzo está en fase con la deformación (Quintanar, 2009); en la figura se aprecia el valor del punto de inflexión (en el círculo verde), donde indica que las estructuras del sistema se ven perturbados y por consiguiente sufre una pérdida de la región viscoelástica lineal (RVL). Para el caso de la muestra de AQ 10%, en el día 0 presenta un valor de deformación del 0.016%; para el caso de la muestra de AQ 5% (Cuadro 12) con un valor de 0.081% se tienen los valores bajos. Esa pérdida o final de la RLV está dada por una disminución en la viscosidad o módulo elástico. Mas allá del punto de inflexión (círculo verde), la estructura del material comienza a descomponerse y el módulo elástico cae

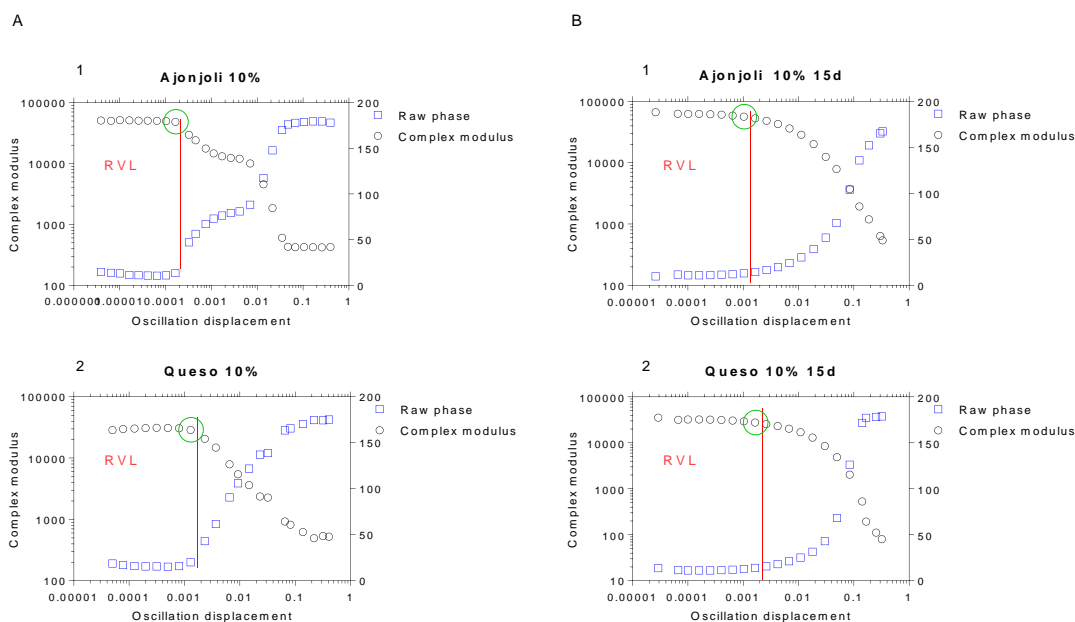
(círculos negros, figura 19). Los valores de deformación en el límite de RVL están asociados a la flexibilidad y elasticidad del material de la muestra y pueden ser considerados como una medida de estabilidad, ya que indican el punto a partir del cual se inicia la ruptura del material (Castells, 2019).

En el cuadro 12 se observan los porcentajes de deformación de las muestras analizadas en los días 0 y 15. Las muestras Q 5%, Q 15% y QQ 10% presentaron porcentajes altos de deformación en el día 0 (Cuadro 12); al día 15 de almacenamiento en congelación, el porcentaje para estas tres muestras tuvo una disminución y en general todas las muestras tendieron a estabilizarse en un valor de 0.103% (Cuadro 12). En el Anexo J se presenta el comportamiento RVL después del almacenamiento.

Cuadro 12. Porcentajes de deformación de RVL de las muestras analizadas

Muestra	% Deformación Día 0	% Deformación Día 15
AQ 5%	0,081	0,103
AQ 10%	0,016	0,103
AQ 15%	0,263	0,103
Q 5%	0,321	0,102
Q 10%	0,129	0,164
Q 15%	0,329	0,103
QQ 5%	0,330	0,103
QQ 10%	0,206	0,103
QQ 15%	0,130	0,164

Figura 19. Barrido de deformación, A.1-muestra AQ 10% día 0; A.2- Q10% día 0; B.1- AQ10% día 15; B.2- Q10% día 15





Para los ensayos con barrido de frecuencia, se utilizó la deformación obtenida del barrido de amplitud, donde se evaluaron los parámetros módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y de pérdida ( $G''$ ).

Las propiedades viscoelásticas (módulo de almacenamiento y de pérdida) se presentan en la figura 20. Se observa una tendencia de aumento del módulo de almacenamiento ( $G'$ ), que se relaciona con la capacidad del material para almacenar energía de manera elástica. Esta característica la proporciona la amilosa y es directamente proporcional al contenido de la misma: a mayores contenidos de amilosa, es mayor la propiedad elástica (Velásquez y Velezmoro, 2018). En la figura 19 se presentan las muestras de A 10%-Q5%-QQ5% del día 0, en las que se observa que  $G' > G''$ , clasificando estas muestras como estructuras viscoelásticas. De manera similar, el módulo de pérdida ( $G''$ ) de un material es la relación entre el componente viscoso y el estrés y está relacionado con la capacidad del material para disipar el estrés a través del calor (Cruz, 2004). En la mayoría de los casos, las curvas correspondientes a  $G'$  exhibieron valores más elevados que las  $G''$  (Ver anexo K).

Figura 20. Dependencia de la frecuencia de  $G'$  y  $G''$ . Comportamientos viscoelásticos de las muestras AQ10%- Q5%-QQ5% en el día 0

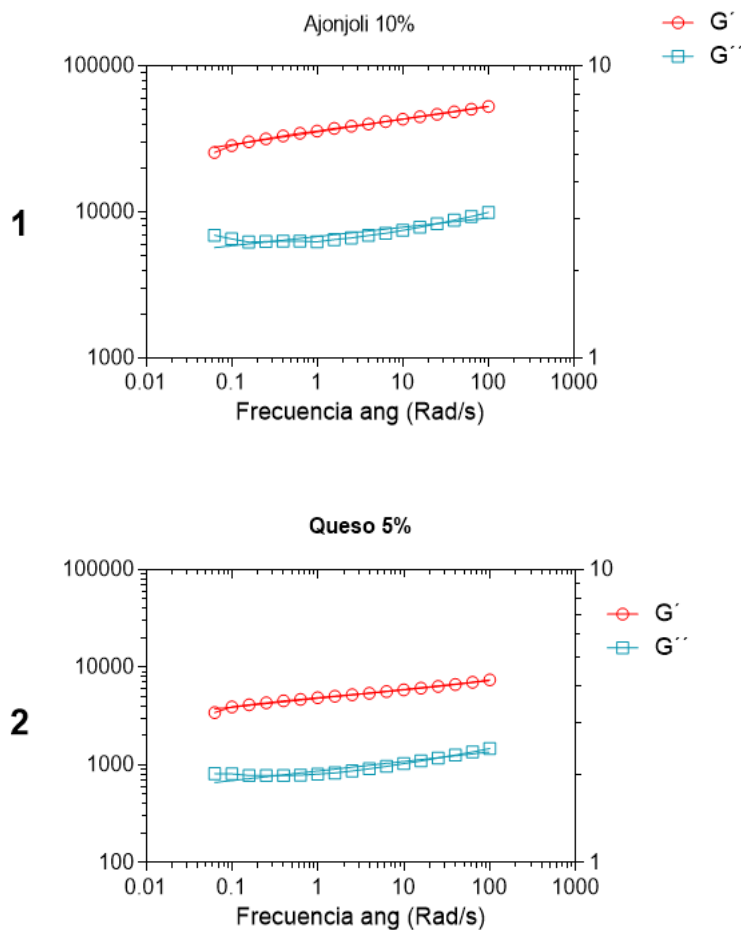
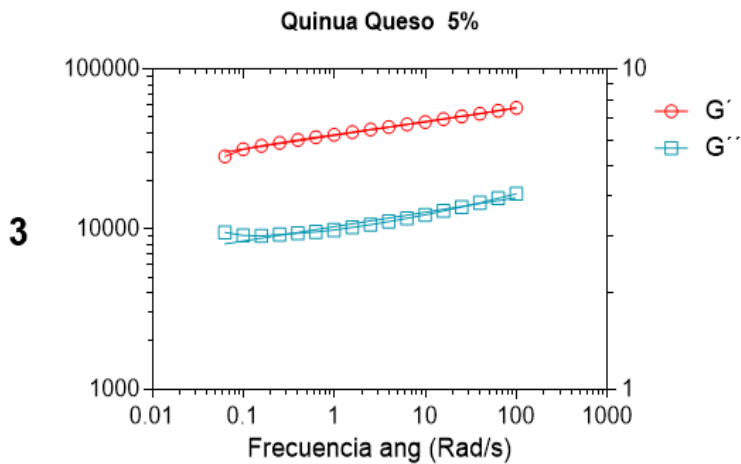


Figura 20. (Continuación)



La materia principal de la elaboración de las arepas, el maíz, se somete a temperaturas de cocción o calentamiento y en presencia de agua sucede el fenómeno conocido como gelatinización del almidón, donde los gránulos se hinchan perdiendo el orden molecular, las cadenas de amilosa se solubilizan y se forma un gel de almidón (Santamaría, 2019). Cuando se enfría, el gel experimenta cambios dando lugar al almidón retrogradado: la retrogradación de la amilosa es un proceso rápido, contrario a la de la amilopectina que sucede a largo plazo; tras el almacenamiento en congelación, en el día 15 no se reflejan cambios en  $G'$  (la relación  $G' > G''$  se conserva), los valores no presentan diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) y son estadísticamente iguales (figura 22), tiende a estabilizarse y los fenómenos de retrogradación son más lentos. En la muestra de QQ (5-10-15%) se aprecia una estabilización de la retrogradación, que también se atribuye a lo reportado en la literatura, acerca del almidón presente en la quinoa, que tiene una excelente estabilidad frente al congelamiento y la retrogradación (Quinto *et al.*, 2015).

Figura 21. Comportamientos viscoelásticos de las muestras AQ- Q-QQ con 5% en el día 15. La línea roja representa el módulo elástico y la azul el módulo viscoso

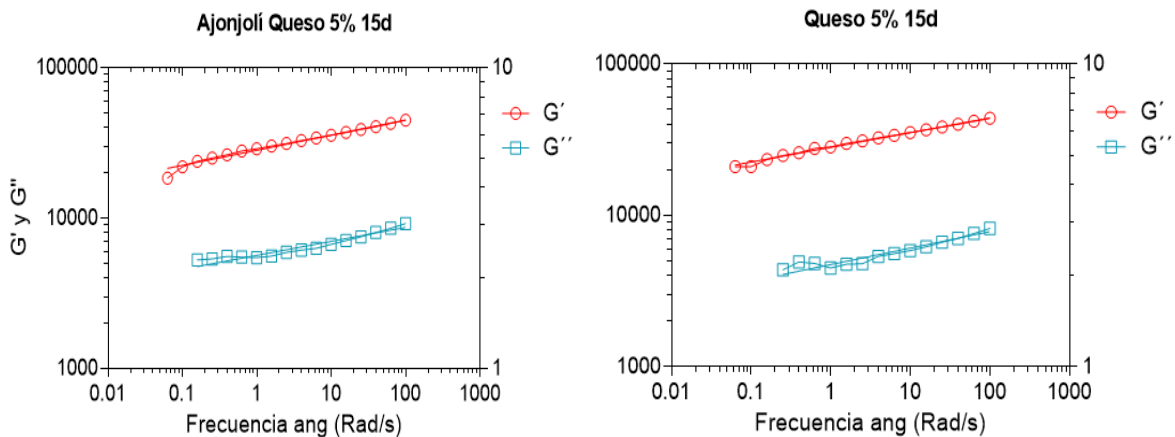


Figura 21. (Continuación)

Quinoa Queso 5% 15 d

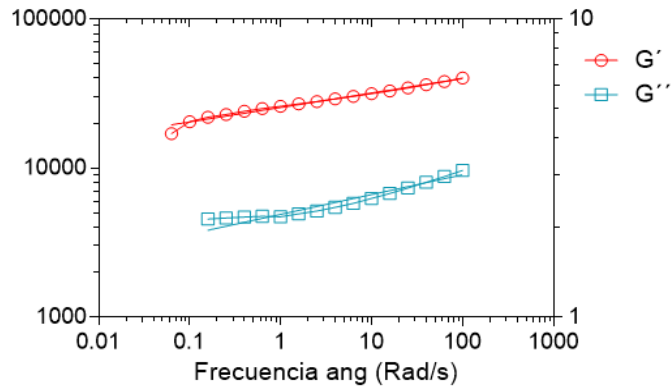
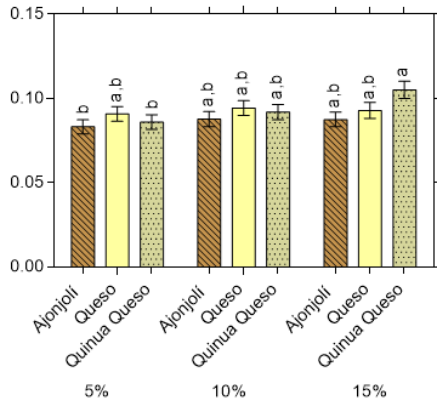
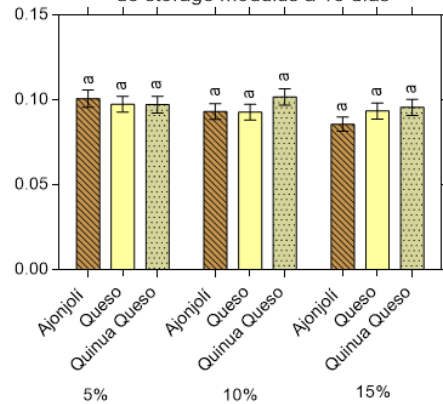


Figura 22. Reporte estadístico del barrido de frecuencia de la variable S. A-módulo elástico ( $G'$ ) en el día 0; B-módulo viscoso ( $G''$ ) día 0; C-módulo elástico ( $G'$ ) día 15; D-módulo viscoso día 15

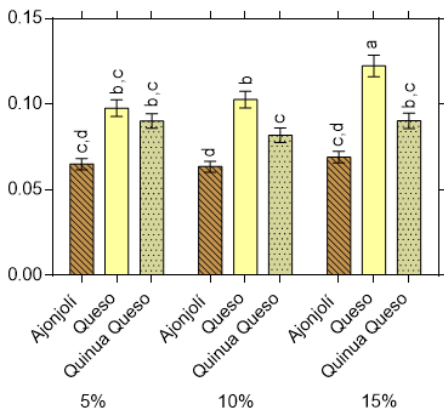
A Comportamiento estadístico de la variable S de storage modulus a 0 días



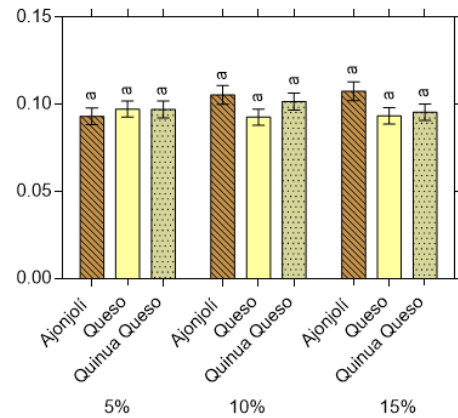
C Comportamiento estadístico de la variable S de storage modulus a 15 días



B Comportamiento estadístico de a variable S de loss modulus a 0 días



D Comportamiento estadístico de la variable S de loss modulus a los 15 días



En todos los casos de las muestras analizadas (Anexo K, L), se observó una dependencia de ambos módulos  $G''$  y  $G'$ , con la frecuencia de oscilación. Tanto en el día 0 como en el día 15, el módulo elástico  $G'$  se mantuvo por encima del módulo viscoso, indicando un comportamiento predominante de carácter sólido para las muestras (Wang y col., 2008); resultados similares se obtuvieron en el estudio de geles de almidón de maíz nativo con goma de semilla de lino, en que se encontró un comportamiento similar a un gel y que su módulo elástico  $G'$  era mayor que su módulo viscoso  $G''$  (Giraldo, 2019). Este mismo resultado también fue observado para varios tipos de hidrocoloides mezclados con almidón de maíz (Ptaszek y col., 2007; Holser y col., 2000; Freitas y col., 2003).

En el análisis estadístico de las muestras no se encontraron diferencias significativas en las curvas de los módulos de almacenamiento y pérdida. Se observó que el módulo  $G'$  fue el mayor que el módulo de pérdida  $G''$ , lo que indica mayor dominio del carácter elástico; característico de un material sólido (Soto, 2018). Los resultados obtenidos pueden asociarse a una mayor absorción de agua de las muestras desde el día 0 y al final del día 15 y a la microestructura cerrada que presentan las masas con almidón, resultados que coinciden con los estudios de Lazaridou *et al.* (2007) y Chiotelli y Le Meste (2002).

#### 4. CONCLUSIONES

Se estudió el efecto de la humedad sobre las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y reológicas de las arepas obtenidas de maíz blanco. Para ello se analizaron tres diferentes muestras: arepas de ajonjolí con queso, de quinua queso y con queso. Las principales conclusiones fueron:

La producción artesanal de Arepas Alegría está en la búsqueda de la industrialización, con el fin de mejorar el proceso productivo, conociendo los parámetros que conceden atributos de calidad al producto, en el desarrollo de este trabajo se logró iniciar un camino que parte de la determinación de un análisis proximal a la materias primas y al producto final donde se logró conocer el aporte nutricional que otorga el producto, con valores experimentales acordes a los registrados en el literatura, por ejemplo las arepas con adición de semillas de ajonjolí presentaron un aumento del 85,38% de proteína en comparación con la arepa de queso y la arepa con quinua.

En el ensayo de compresión y textura, se obtuvo que el principal factor que afecta estas propiedades reológicas, es la formulación; en este caso, los tres tipos de arepas Q-AQ-QQ y la humectación con 5%, 10% y 15% de agua; se resalta que el parámetro Dureza se ve afectado por el tiempo de almacenamiento y por la retrogradación del almidón de la mezcla en dicho tiempo; este se reflejó en el aumento de la fuerza máxima aplicada a las muestras: en el día 0 para la muestra de Q 10%, se necesitó una fuerza de 1.17976 N para generar una deformación; para el día 15 se reportó 5.4463 N.

El test de *Creep and Recovery* permitió conocer información sobre la estructura de las arepas en un estado inicial y luego de un almacenamiento; se conocieron los cambios que sufren las propiedades de los componentes de las muestras, como el caso del almidón y sus fenómenos de gelatinización y retrogradación; a través del parámetro “tiempo de retardo  $\lambda_1$ ”, se observó un aumento en la viscosidad después del almacenamiento, que representa una mayor resistencia a la deformación, reflejando la dureza que esta muestra gana con el pasar del tiempo.

En cuanto a las propiedades de flujo, se logró comprobar que la consistencia (k) afecta directamente la viscosidad de la mezcla; si el valor de k es alto, el fluido es más viscoso y viceversa; además, de la velocidad de cizalla depende el comportamiento del fluido, ya sea dilatante o pseudoplástico.

En el perfil de viscosidad determinó la evolución de este parámetro durante la etapa de calentamiento/enfriamiento; se observó un aumento de la viscosidad en cada una de las muestras, lo cual se atribuye en una forma inversamente proporcional a la desnaturalización y desdoblamiento de la cantidad de proteínas presentes; en el caso de las arepas de queso (Q), estas tienen un porcentaje proteico más alto que las arepas de AQ y QQ y su pico

máximo de viscosidad fue más bajo, debido a la competencia que tiene el almidón con las proteínas por la captura del agua libre.

Para el comportamiento viscoelástico se realizaron barridos de frecuencia y de amplitud de deformación, obteniéndose módulos de almacenamiento y de pérdida que se representaron gráficamente; se concluye que durante la fase de día 0 y día 15, el módulo de elástico de las muestras fue mayor al módulo viscoso  $G' > G''$ , característico en un material sólido. Dichos resultados se asocian a la capacidad de absorción de agua con la que cuenta el grano de maíz y sus compuestos, desde el proceso de humectación del grano hasta el amasado y moldeado.

Finalmente, en un proceso de producción de una industria pequeña se aplicaron conceptos científicos que permitieron resolver una problemática durante el almacenamiento del producto. Además de explicar todos los fenómenos asociados al proceso productivo.

## 5. RECOMENDACIONES

Para complementar el estudio de textura de las Arepas Alegría, se recomienda realizar pruebas de carácter sensorial que ofrezcan información de los parámetros de aceptabilidad por parte de los consumidores, además de realizar un análisis comparativo con los resultados que se obtengan del análisis de las arepas en su etapa de asado.

Aplicar un test ATP (Análisis de Perfil de Textura) que permita evaluar los parámetros y atributos de las arepas, para crear estándares que ayuden a controlar la calidad en el producto final.

Con base en los resultados obtenidos y la literatura revisada, se recomienda a Arepas Alegría realizar la adición de un hidrocoloide que contribuya a mantener el contenido de humedad; esto ayudará a retardar la rigidez en las arepas durante el periodo de almacenamiento, haciendo que el fenómeno de retrogradación sea más lento, conservando las características propias del producto.

## BIBLIOGRAFÍA

AOAC., Métodos de Análisis de la Asociación Oficial de Química Analítica para determinar humedad, fibra, cenizas, grasa y proteína., Washington, U.S.A, Chapter 32: 1,2,5 y 14. 2003

AGAMA-ACEVEDO, E., JUÁREZ-GARCÍA, E.; EVANGELISTA-LOZANO, S.; ROSALES-REYNOSO, O.; BELLO-PÉREZ, L. Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. En: Agrociencia, 2013, vol. 47, no. 1, pág. 1–12.

ARZAPALO QUINTO, D.; HUAMÁN CÓNDOR, K.; QUISPE SOLANO, M. y ESPINOZA SILVA, C. (2015). Extraction and characterized starch three varieties of quinoa (chenopodium quinoa willd) black collana, red pasankalla and white Junín. En: Alicia Acceso Libre a Información Científica para la Innovación, 2015.

ATWATER, Y.C.; PINTOR, S.; ANDRÉS, M.; HERNÁNDEZ, R.; MAURICIO, Y.; RICAURTE, G.; LEONARDO, C.; ALONSO, J. y CUBIDES, P. (2016). Caracterización químico-energética de dos variedades de queso fresco, haciendo uso del factor atwater y calorimetría. En: Revista Alimentos Hoy, 2016, vol. 24, no. 38, pág. 34-61.

BALA, M.; HANDA, S.; MRIDULA, D. y SINGH, R. Physicochemical, functional and rheological properties of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) flour as influenced by particle size. En: Heliyon, Noviembre, 2020, vol. 6, no. 11, p. 05471. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05471>

BENÍTEZ CARDOZA, Claudia Guadalupe. El maíz: origen, composición química y morfología. En: Materiales Avanzados, 2007, vol. 7, no. 4, pág. 19–24.

BORREGO-AVILA, D.A., CASTILLA-ARCINIEGA, M.A., GÓMEZ-GONZÁLEZ, L. y CHEW MADINAVELTIA, R.G. Caracterización bromatológica de harina de Guamüchil (*Pithecellobium dulce*). En: Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 2016, vol. 1, pág. 37-40.

CAMPUS BAYPOLI, O.N.; ROSAS BURGOS, E.C.; TORRES CHAVEZ, P.I.; RAMÍREZ WONG, B.; SERNA SALDIVAR, S.O. Physicochemical changes of starch during maize tortilla production. En: Starch/starke, 1999, vol. 51, no. 173.

CAZARES-SANCHEZ, E.; CHÁVEZ-SERVIA, J.; SALINAS-MORENO, Y.; CASTILLO-GONZÁLEZ, F. y RAMÍREZ-VALLEJO, P. Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. En: Agrociencia, 2015, vol. 49, no.1, pág.15-30. ISSN 2521-9766.



CORTÉS-GÓMEZ, A.; SAN MARTÍN-MARTÍNEZ, E.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; VÁZQUEZ-CARRILLO, G.M. Tortillas of blue maize (*Zea mays* L.) prepared by a fractionated process of nixtamalization: Analysis using response surface methodology. En: J. Food Eng. 2005, vol. 66, pág. 273-281.

DADA, A.A. y E.O. ADEPARUSI, Dietary effects of two medicinal plants (*Sesamum indicum*) and (*Croton zambesicus*) on the reproductive indices in female African catfish (*Clarias gariepinus*) broodstock, En: Egyptian Journal of Aquatic Research: 38(4), 269–273 (2012).

DELGADO, Arnoldo E.; GARCÍA, Rafael G, y APERADOR, William A. Estudio del poder lubricante del aceite de ajonjolí con adición de nanopartículas de cobre. En: Información tecnológica, 2016, vol. 27, no. 6, pág. 175-84. Doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000600018>.

ELSOHAIMY, S; REFAAY, T. y ZAYTOUN, M. *Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate*. En: Annals of Agricultural Sciences, 2015, vol. 60, no. 2, pág. 297-305.

ENRÍQUEZ CASTRO, Carlos Martín. Comparación de las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y morfológicas de harinas de maíz nixtamalizadas obtenidas por dos diferentes procesos: efecto de los cambios en el almidón. Tesis Doctoral en Ciencias de los alimentos. Universidad de Sonora. Hermosillo, México: 2019.

ENYISI, S.I.; UMOH, V.; WHONG, C.; ABDULLAHI, I. y ALABI, O. Chemical and nutritional value of maize and maize products obtained from selected markets in Kaduna State, Nigeria. En: African Journal of Food Science and Technology, 2014, vol. 5, no. 4, pág. 100–104. <https://doi.org/10.14303/ajfst.2014.029>

ESTUPIÑAN, D.C.; GONZALEZ, D.C; HUERTAS.L.M. Estudio de la viabilidad para la producción y comercialización de arepas de maíz con soya, quinua y queso enriquecidas con fibra. Tesis de grado. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia. 2017, Pag. 21.

FERGUSON, J. y KEMBLOSKI, Z. Applied Fluid Rheology. Elsevier Science Publishers Ltd. University Press, Cambridge: 1991.

FERNÁNDEZ-MUÑOZ, J.L.; SAN MARTÍN-MARTÍNEZ, E.; DÍAZ-GÓNGORA, J.A.I; CALDERÓN, A. y ORTIZ, H. Evaluación de las Distribuciones de Tamaño de Partícula de Harina de Maíz Nixtamalizado por medio de RVA. En: Superficies y vacío, 2008, vol. 21, no. 3, pág. 25-30.

FRANCK, A. y GERMANY, T. I. Viscoelasticity and dynamic mechanical testing. TA Instruments, New Castle, USA: 1993.

GARCÍA, A. y LAVAL, E. El mercado mundial de los cereales: Temporada 2018/2019, situación política mundial y perspectivas para las próximas décadas. ODEPA.

GARCÍA, J., PÉREZ, A., ACOSTA, H., & VILLADA Castillo, H. S. (2006). Reología de masas de maíz reforzadas con manitol y cmc. *Biología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 4(1), 51–57. Recuperado a partir de <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biologia/article/view/641>

GIL POSO, J. Evaluación de modificadores reológicos en una formulación de shampoo como alternativa al uso del cloruro de Sodio. Tesis Maestría en Ciencias y Tecnologías cosméticas. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador: 2018, 119 p.

GIRALDO PINEDA, Carolina. Desarrollo de alimentos aptos para celíacos a base de maíz y de subproductos de la industria alimentaria. Tesis Magister en Tecnología e Higiene de los Alimentos. Universidad Nacional de La Plata. Argentina: 2019.

GRANDE T., Carlos D.; OROZCO C., Brigitte S. Producción y procesamiento del maíz en Colombia. Revista Científica Guillermo de Ockham. Universidad de San Buenaventura Cali, Colombia: 2013, vol. 11, núm. 1, pp. 97-110

HATA, N. et al., Effect of photoperiod on growth of the plants, and sesamin content and CYP81Q1 gene expression in the leaves of sesame (*Sesamum indicum* L.), *Environmental and Experimental Botany*: 2012, pág. 75, 212–219

HERNÁNDEZ LUCAS, María. Caracterización reológica de hidrogeles de MCC-NaCMC + almidón. Tixotropía y sinergismo. Tesis doctoral en Física. Universitat de València. Facultat de Física. España: 2014.

INSTRON. ¿Qué es el ensayo de compresión? [en línea]. © Illinois Tool Works Inc.: s.f. [citado 29, septiembre, 2022]. Disponible en internet en: <https://www.instron.com/es-ar/resources/test-types/compression-test>

IUGA, Mădălina; MIRONEASA, Costel y MIRONEASA, Silvia. Oscillatory Rheology and Creep-Recovery Behaviour of Grape Seed-Wheat Flour Dough: Effect of Grape Seed Particle Size, Variety and Addition Level. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca*. En: *Food Science and Technology*, 2019, vol. 76, no. 1. Doi: <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-fst:2018.0020>.

LAURA SUCASACA, Rigoberto. La gestión educacional y producción de quinua orgánica (*Chenopodium Quinoa* Wild) del banco de germoplasma de la Universidad Nacional del Altiplano según Bioversity Internacional. Tesis. Lima Perú, 2018.

LIMANOND, B.; CASTELL-PEREZ, E. y MOREIRA, R. G., "Effect of time and storage conditions on the rheological properties of masa for corn tortillas", en *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, Vol. 32, pp. 344-348, 1999

MÁRQUEZ SIGUAS, Betsy. Refrigeración y congelación de alimentos: Terminología, definiciones y explicaciones. Tesis Ingeniería de Industrias. Tesis Ingeniería de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de San Agustín. Facultad de Ingeniería de Procesos. Arequipa, Perú: 2014.

MEX-ÁLVAREZ, R.M.J.; GARMA-QUEN, P.M.; BOLÍVAR-FERNÁNDEZ, N.J. y GUILLÉN-MORALES, M.M. Vista de Análisis proximal y fitoquímico de cinco variedades de maíz del Estado de Campeche, México. En: *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 2016, vol. 12, no. 2, pág. 74-80.

MEZGER, Thomas. Reología Aplicada: en el camino de la reología con Joe Flow. Anton Paar GmbH. Pag 74, Cap 10. USA: s.f.

MORENO, L., VANEGAS, A, S. "Evaluación del efecto de las variables en las operaciones de humectación y cocción en el proceso de elaboración de arepa de maíz". DOI: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_alimentos](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos),2004.

MOTTA, Hollman y ZHANG, Yue. Physicochemical properties and rheological behavior of flours and starches from four bean varieties for gluten-free pasta formulation. En: *Journal of Agriculture and Food Research*, 2019, vol. 1,p. 100001.

PASQUALONE, A., CONSTANTINI M., y otros dos autores, Production of extruded-cooked lentil flours at industrial level: effect of processing conditions on starch gelatinization, dough rheological properties and techno-functional parameters, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111580>, LWT, 147 (2021)

PFLUGFELDER, R.L.; ROONEY, L.W. y WANISKA, R.D. (n.d.). Fractionation and Composition of Commercial Corn Masal. En: *Cereal Chem*, 1988, vol. 65, no. 3, pág. 262-266.

RAO, V. G. y RAO, H. P., "Methods for determining rheological characteristics of doughs: A critical evaluation", en *Journal of Food Science and Technology (Mysore)*, Vol. 30, No. 2, pp. 77-87, 1993

RAMIREZ NAVAS, Juan. Introducción a la Reología de Alimentos. Edit. Universidad del Valle. Cali, Colombia: 2006.

RAMIREZ-WON, B.; SWEAT, V. E.; TORRES, P. I. y ROONEY, L. W., "Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation", en *Cereal Chemistry*, Vol. 70, No. 3, pp. 286-290, 1993

RICO, M. GOMIS, A. Tecnología de polímeros, procesos y propiedades. Edit. Universidad de Alicante. Cap 5. España: 2012, pág. 40-45.

ROA, Diego; SANTAGAPITA, Patricio; BUERA, Pilar y TOLABA, Marcela. Hyper-protein quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Wild): Monitoring and study of structural and rheological properties. En: *LWT*, 2020, vol. 121, p. 108952.

RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; CUVELIER, G. y FERNÁNDEZ-QUINTERO, A. Influencia de las condiciones de proceso en las características físicas de masas de yuca. En: *Ingeniería y Competitividad*, 2007, vol. 9, no. 1, pág. 7-17.

ROJAS, Orlando. Introducción a la Reología. Módulo de enseñanza en Fenómenos Interfaciales. Universidad de los Andes. Escuela de Ingeniería Química. Laboratorio de Formulación, Interfase, Reología y Procesos. Mérida: 1999. 24 p.

SANTAMARÍA ARNAL, Ana María. Aditivos y enzimas sobre la funcionalidad del almidón sometido a tratamientos térmicos. Tesis MAestría en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos. Universitat Politècnica de València. Departament de Tecnologia d'Aliments. España: 2019.

SHAFIUR RAHMAN, Mohammad; AL-FARSI, Sohrab Aliakbar. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content. En: *Journal of Food Engineering*, 2005, vol. 66, no. 4, pág. 505-511.

SAHIA, D.; BUENDIA, M. O. y JACKSON, D. S., "Analytical techniques for understanding nixtamalized corn flour: Particle size and functionality relationships in a masa flour simple", en *Cereal Chemistry*, Vol. 78, No. 1, pp. 14-18, 2001.

SHIM, J. y MULVANEY S. J., "Effects of pregelatinization conditions and added whey protein isolate on corn starch dough properties", en *Cereal Foods World*, Vol. 47, No. 9, pp. 440-446, 2002

SOTO VEGA, Iris. Efecto del almidón de yuca modificado con  $\alpha$ -amilasa del *Bacillus licheniformis* en las propiedades viscoelásticas, bromatológicas, físicas y sensoriales del diabolín. Tesis Ingeniería de Alimentos. Universidad de Córdoba. Montería: 2016.

SUÁREZ, E.; RIVERA, R.; CORONEL, A.; PALACIO, A. y KULICH, E. Estudio de coeficientes reológicos de un crudo extrapesado mezclado con un biorreductor de viscosidad. En: *Ingeniería Mecánica*. Mayo-agosto, vol. 18 no. 2, p. 87-92. 2015.

TA-INSTRUMENTS [en línea]: 2021. [citado: 21, Octubre, 2022]. Disponible en internet en:<https://www.tainstruments.com/productos/reologia2/>.

TALENS OLIAG,P. Comportamiento reológico de un alimento en función de su contenido en grasa. Disponible en internet en: <http://hdl.handle.net/10251/83391> . 2017

TAKAHASHI, Y.; MINE, J.; KUBOTA, Y.; YAMAZAKI, E. y FUJIWARA, T. A substantial number of Rasmussen syndrome patients have increased IgG, CD4+ T cells, TNF $\alpha$ , and Granzyme B in CSF. En: *Epilepsia*, 2009, vol. 50, no. 6, pág. 1419–1431. <https://doi.org/10.1111/J.1528-1167.2008.01977.X>

TEJADA, R., Mayra A. Estudio sobre el grano de ajonjolí (*sesame indicum sp.*). Monografía. Universidad Nacional Abierta y A Distancia-UNAD. Escuela de ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería. Girardot: 2018, pág. 18.

TORRES GONZALEZ, J. ACEVEDO CORREA, D.; TIRADO ARMESTO, D. Análisis de la calidad bromatológica, microbiológica, sensorial y de textura de bollos de mazorca cocidos en ebullición. En: *ReCiTeIA*, 2015, vol. 14, pág. 7-16.

TORRES, Alexis y GUERRA, Marisa. Sustitución parcial de harina de maíz precocida con harina de quinchocho (*Cajanus cajan*) para la elaboración de arepas. En: *Interciencia*, 2003, vol. 28, no. 11.

TORRES-GONZÁLEZ, José David, ACEVEDO-CORREA, Diofanor y MONTERO-CASTILLO, Piedad Margarita. Influencia del almacenamiento en la textura y viscoelasticidad de bollos de maíz Cariaco blanco. En: *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 2016, vol. 17, no. 3, pág. 403-16. Doi: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol17\\_num3\\_art:516](https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:516).

TROVO, Ana Luisa; GOMES, Loanda; ROSSIGNOLO, Paulo; RODRIGUES, Luiz; FONSECA, Frederico; PEREIRA, Katiuchia; de MORAIS, Devis; de MELO, Alexandre. Caracterización fisicoquímica y reológica de palomitas de maíz criollo de almidón de maíz (*Zea mays L.*). En: *Investigación, Sociedad y Desarrollo*, 2021, vol. 10, no. 13. Doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21394>

VAN BOCKSTAELE, F., de LEYN, I., EECKHOUT, M., &-38; DEWETTINCK, K. Non-linear creep-recovery measurements as a tool for evaluating the viscoelastic properties of wheat flour dough. En: *Journal of Food Engineering*, 2011, 107/(1), 50–59.DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2011.06.001>

VELÁSQUEZ-BARRETO, F. F., VELEZMORO, C., MOLINA, L., &-38; Lima, P. Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos. En: *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 189–197, 2018. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2018.02.03>

WANG, F. C. y SUN X. S., "Creep-recovery of wheat flour doughs and relationship to other physical dough tests and breadmaking performance", en *Cereal Chemistry*, Vol. 79, No. 4, pp. 567-571, 2002.

WANG, Xinwei; ZHAO, Renyong y YUAN, Wengjiao. Effects of flour dynamic viscosity on the quality properties of buckwheat noodles. En: *Carbohydrate Polymers*. Marzo, vol. 207, p. 815-823. 2019.

ZHU, F., Y WANG, Y. J. Rheological and thermal properties of rice starch and rutin mixtures. En: *Food Research International*. Diciembre, 2012, vol. 49 no. 2, p. 757–762.

## ANEXOS

### ANEXO A. Registro fotográfico de pruebas de análisis proximal

Determinación de ceniza



Determinación de grasa



Determinación de proteína

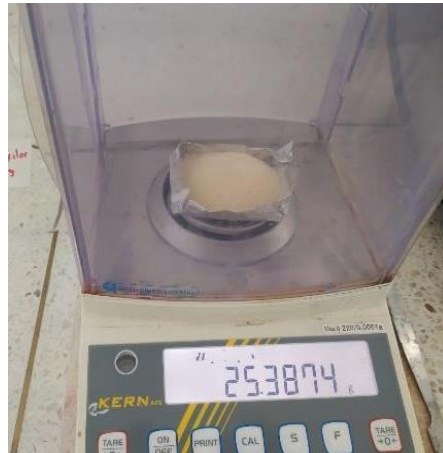


## ANEXO B. Registro fotográfico de pruebas microbiológicas

Agares



Pesaje de agares

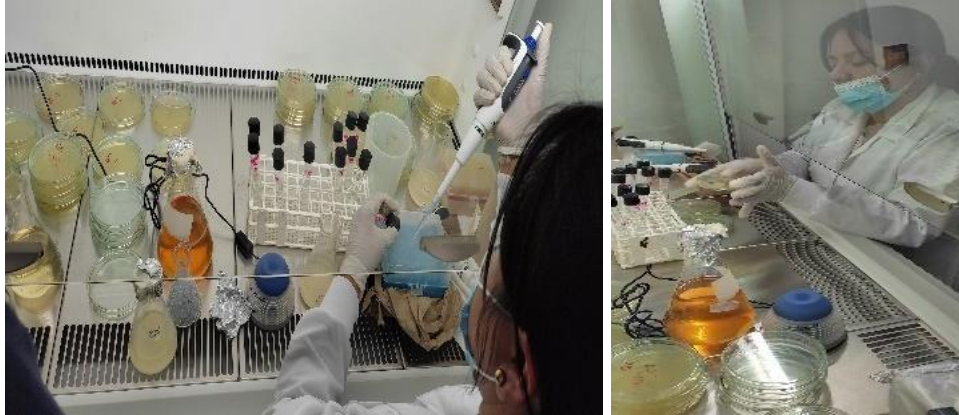


Preparación de las muestras





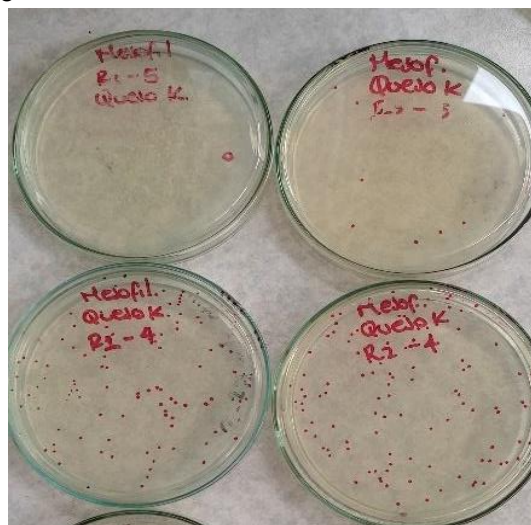
## Dilución y siembra de las muestras



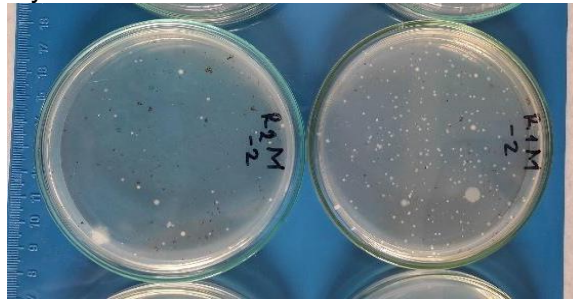
## Incubación



## Identificación de mesófilo



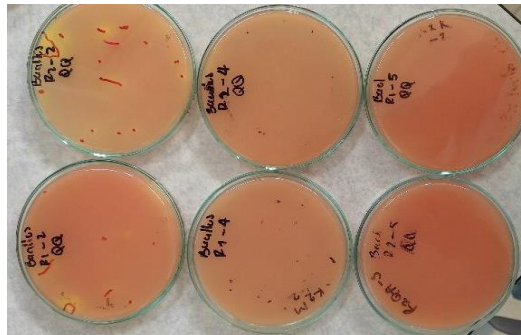
Identificación de hongos y levaduras



Identificación de Salmonella



Identificación de *Bacillus*



Identificación de *E. coli*



### ANEXO C. Resultados ANOVA dos vías

Efecto de la composición y la humedad en la dureza de las arepas en el día cero

Fuente de variación	% de variación total	P valor	P valor resumen	¿Significante?
Interacción	9,504	< 0,0001	****	Yes
Factor Composición	53,44	< 0,0001	****	Yes
Factor Humedad	23,52	< 0,0001	****	Yes

Efecto de la composición y la humedad en la dureza de las arepas en el día quince.

Fuente de variación	% de variación total	P valor	P valor resumen	¿Significante?
Interaction	3,150	0,6501	Ns	No
Factor composición	8,311	0,0492	*	Yes
Factor humedad	42,92	< 0,0001	****	Yes

## ANEXO D. ANOVA doble vía datos de ensayo de textura para el día cero y los quince días

Table Analyzed	Día cero ANOVA dos vías				
Two-way ANOVA	Ordinary				
Alpha	0,05				

Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?	
Interaction	9,504	< 0,0001	****	Yes	
Row Factor	53,44	< 0,0001	****	Yes	
Column Factor	23,52	< 0,0001	****	Yes	

ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Interaction	3,530	4	0,8824	F (4, 52) = 9,128	P < 0,0001
Row Factor	19,85	2	9,924	F (2, 52) = 102,7	P < 0,0001
Column Factor	8,735	2	4,368	F (2, 52) = 45,18	P < 0,0001
Residual	5,027	52	0,09668		

Table Analyzed	Quince días ANOVA dos vías				
ANOVA summary					
F	11,23				
P value	0,0094				
P value summary	**				
Are differences among means statistically significant? (P < 0.05)	Yes				
R square	0,7892				
Brown-Forsythe test					
F (DFn, DFd)	0,2020 (2, 6)				
P value	0,8225				
P value summary	Ns				
Significantly different standard deviations? (P < 0.05)	No				
Bartlett's test					
Bartlett's statistic (corrected)					
P value					
P value summary					
Significantly different standard deviations? (P < 0.05)					

ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Treatment (between columns)	26,44	2	13,22	F (2, 6) = 11,23	P = 0,0094
Residual (within columns)	7,061	6	1,177		
Total	33,50	8			
Number of treatments (columns)	3				
Number of values (total)	9				

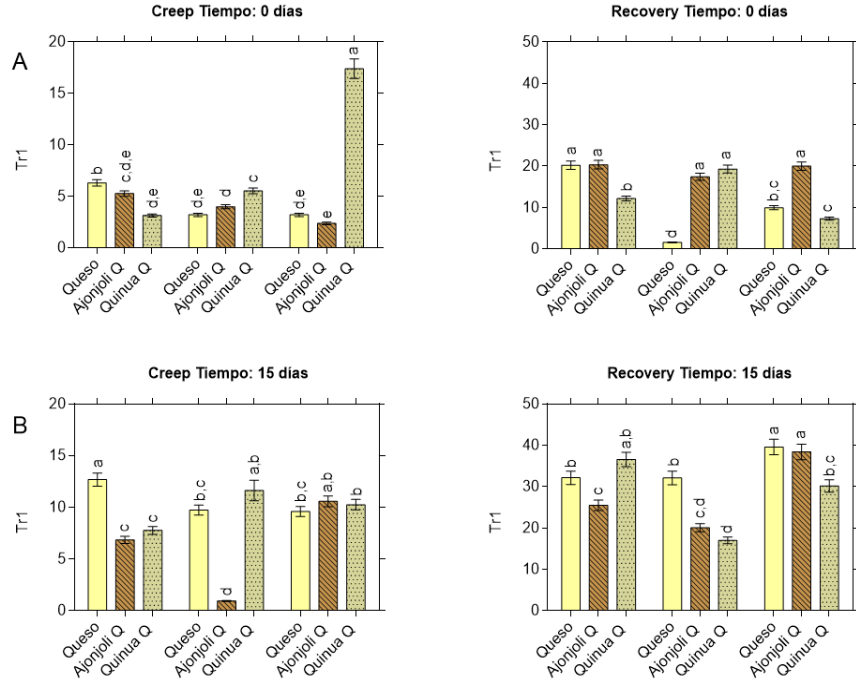
**ANEXO E. Resumen de análisis ANOVA de dos vías de las muestras después de 15 días de almacenamiento**

Fuente de variación	% de variación total	P valor	P valor resumen	¿Significante?
Interaction	62,95	< 0,0001	****	Yes
Row Factor	11,49	< 0,0001	****	Yes
Column Factor	25,19	< 0,0001	****	Yes

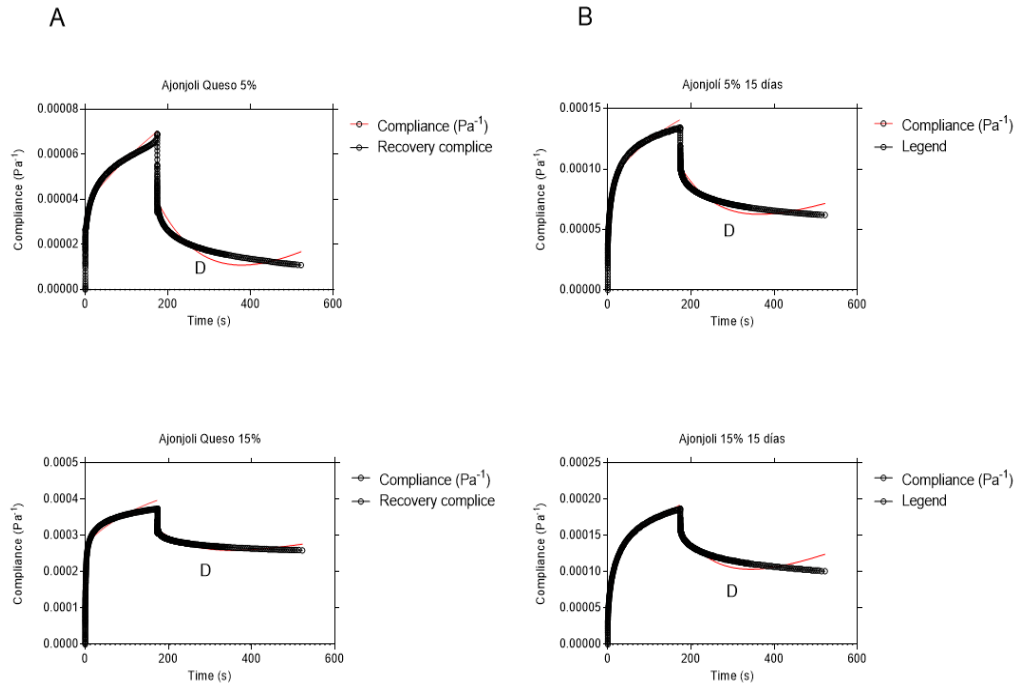
Fuente de variación	% de variación total	P valor	P valor resumen	¿Significante?
Interaction	50,93	< 0,0001	****	Yes
Row Factor	11,47	< 0,0001	****	Yes
Column Factor	36,23	< 0,0001	****	Yes

## ANEXO F. Fase de *creep and recovery*

Estadísticas de las muestras en el día 0 y el día 15

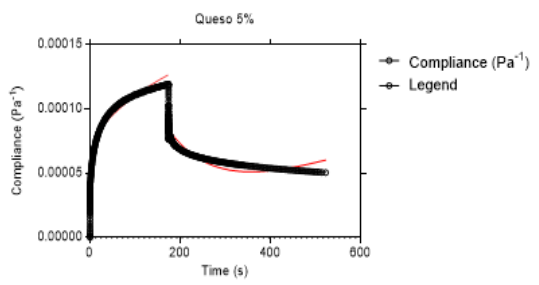


Muestras de AQ 5%- AQ 10% en el día 0 y el día 15

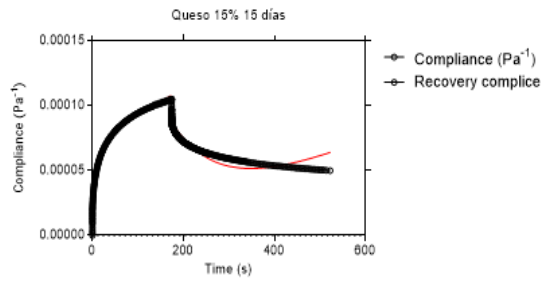
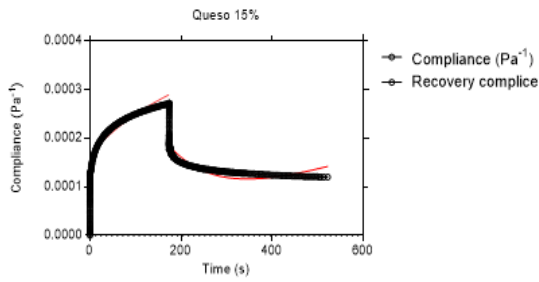
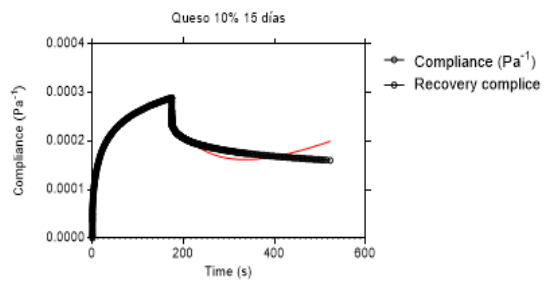
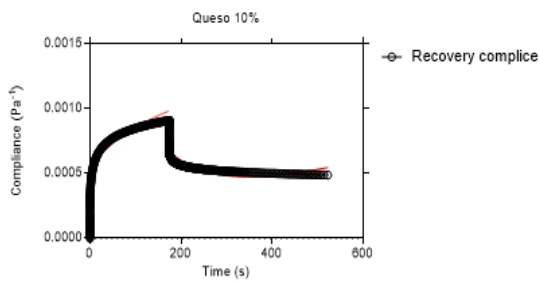
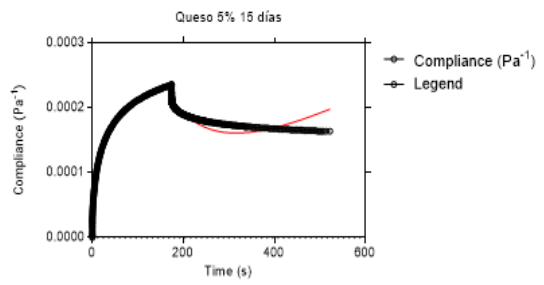


Muestras de Q 5-10-15% en el día 0 y día 15

A



B



## ANEXO G. Análisis estadístico de las variables K y n del perfil de flujo

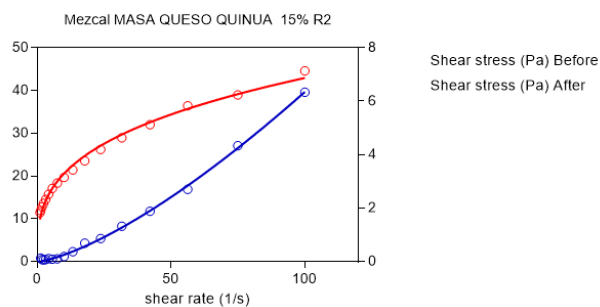
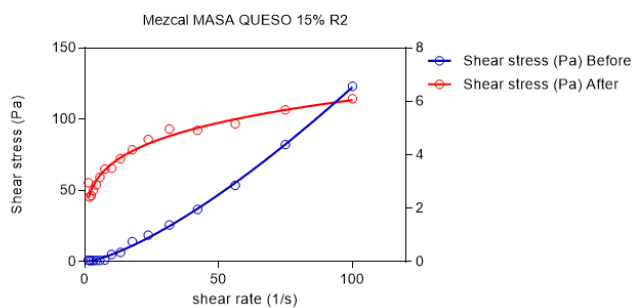
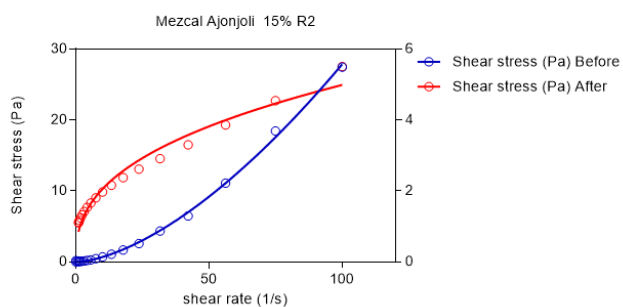
### ANOVA variable n (índice de flujo)

ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Treatment (between columns)	3,965	5	0,7930	F (5, 6) = 1409	P < 0,0001
Residual (within columns)	0,003376	6	0,0005626		
Total	3,968	11			

### ANOVA variable K (consistencia)

ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Treatment (between columns)	1604	5	320,7	F (5, 6) = 11,54	P = 0,0049
Residual (within columns)	166,8	6	27,80		
Total	1770	11			

Efecto de la velocidad de cizalla sobre el índice de flujo y la consistencia de las dispersiones de las mezclas de arepas R2





Estadística perfil de flujo, consistencia (k) e índice de flujo (n)

MUESTRA	Shear stress (Pa) Before					Shear stress (Pa) After											
	K	$\sigma \pm ds$	n	$\sigma \pm ds$	R Square	K	$\sigma \pm ds$	n	$\sigma \pm ds$								
AQ 15% R1-R2	0,003557	0,00350 ± 0,00008	1,597	1,601± 0,006	0,9987	4,241	4,4 ± 0,3	0,3848	0,382± 0,004								
	0,003447		1,605		0,9987	4,605		0,3796									
Q 15% R1-R2	0,01247		0,0120± 0,0006		1,34	1,36± 0,03		0,9853		23,41	32± 13	0,2695	0,24± 0,04				
	0,01156				1,376			0,9987		41,5		0,2185					
QQ 15% R1-R2	0,01027				0,009± 0,002			1,395		1,42± 0,03		0,9985		9,846	9± 2	0,3198	0,34± 0,02
	0,00792							1,436				0,9953		7,363		0,3527	

## ANEXO H. ANOVA de la variable K

Día 0

ANOVA summary					
F	6,757				
P value	0,0048				
P value summary	**				
Are differences among means statistically significant? (P < 0.05)	Yes				
R square	0,8573				
Brown-Forsythe test					
F (DFn, DFd)	+infinity (8, 9)				
P value	< 0,0001				
P value summary	****				
Significantly different standard deviations? (P < 0.05)	Yes				
Bartlett's test					
Bartlett's statistic (corrected)					
P value					
P value summary					
Significantly different standard deviations? (P < 0.05)					
ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Treatment (between columns)	1,170	8	0,1463	F (8, 9) = 6,757	P = 0,0048
Residual (within columns)	0,1948	9	0,02165		
Total	1,365	17			
Data summary					
Number of treatments (columns)	9				
Number of values (total)	18				

Día 15

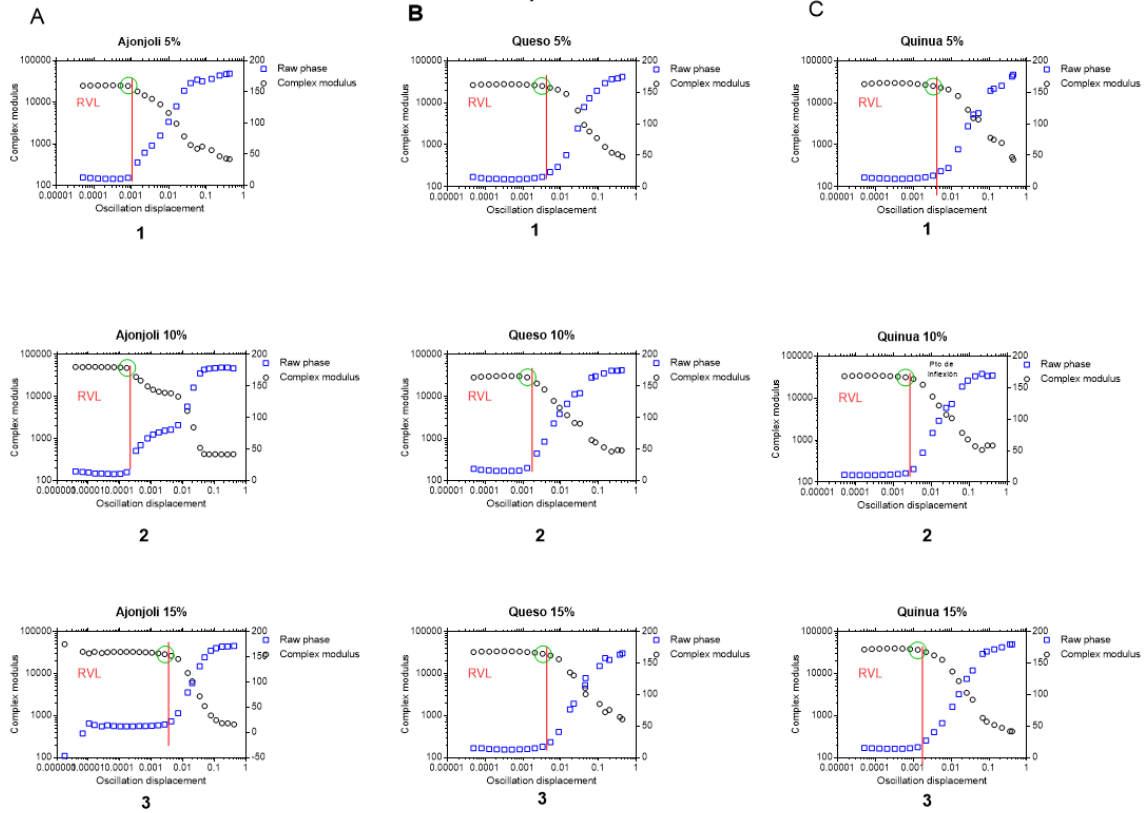
ANOVA summary					
F	3,822				
P value	0,0309				
P value summary	*				
Are differences among means statistically significant? (P < 0.05)	Yes				
R square	0,7726				
Brown-Forsythe test					
F (DFn, DFd)	+infinity (8, 9)				
P value	< 0,0001				
P value summary	****				
Significantly different standard deviations? (P < 0.05)	Yes				
Bartlett's test					
Bartlett's statistic (corrected)					
P value					
P value summary					

Significantly different standard deviations? (P < 0.05)					
ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Treatment (between columns)	0,1281	8	0,01602	F (8, 9) = 3,822	P = 0,0309
Residual (within columns)	0,03772	9	0,004191		
Total	0,1658	17			
Data summary					
Number of treatments (columns)	9				
Number of values (total)	18				

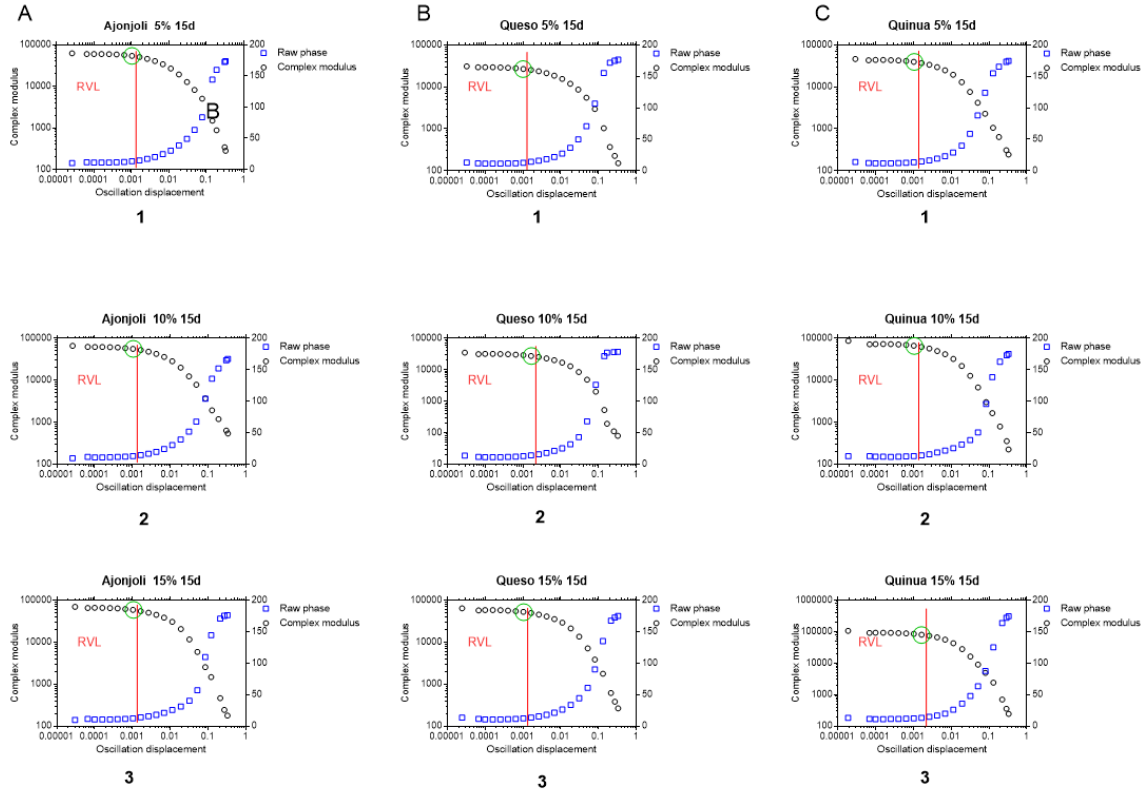
ANOVA de dos vías de las muestras después de 15 días de almacenamiento

Fuente de variación	% de variación total	P valor	P valor resumen	¿Significante?
Interaction	50,93	< 0,0001	****	Yes
Row Factor	11,47	< 0,0001	****	Yes
Column Factor	36,23	< 0,0001	****	Yes

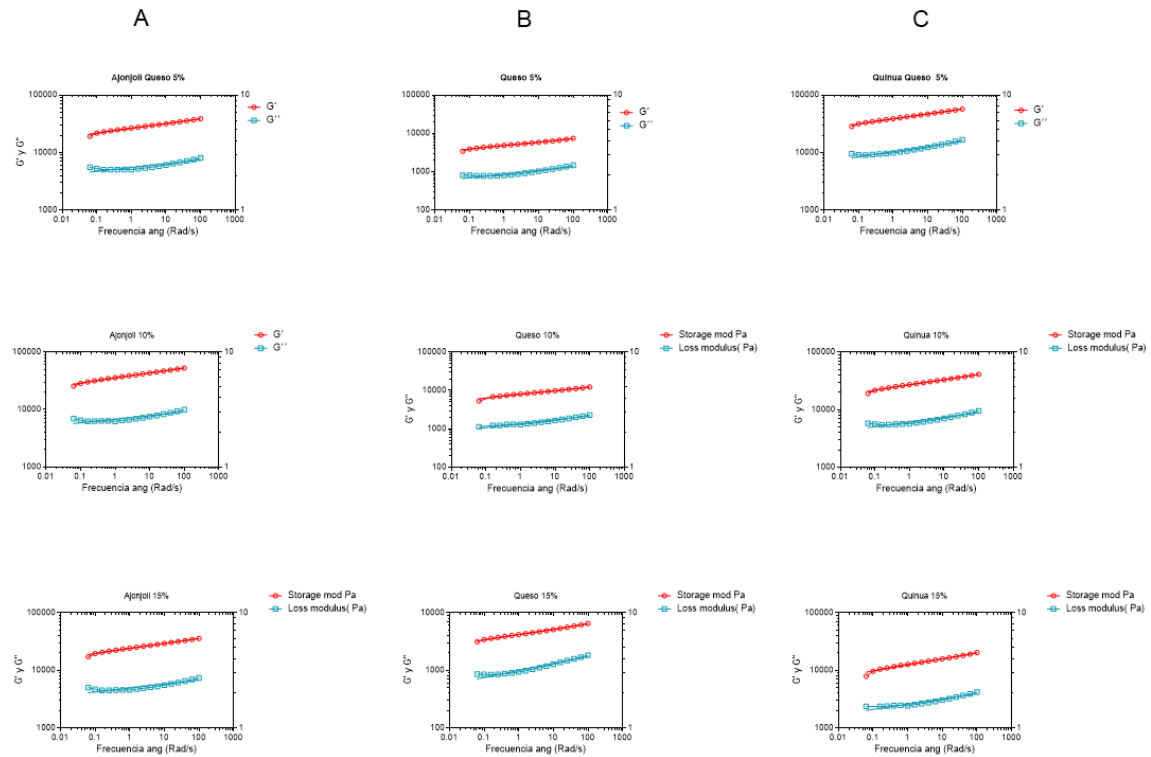
## ANEXO I. Amplitud de deformación A- AQ, B-Q, C-QQ, con 5-10-15% de humectación, Día 0



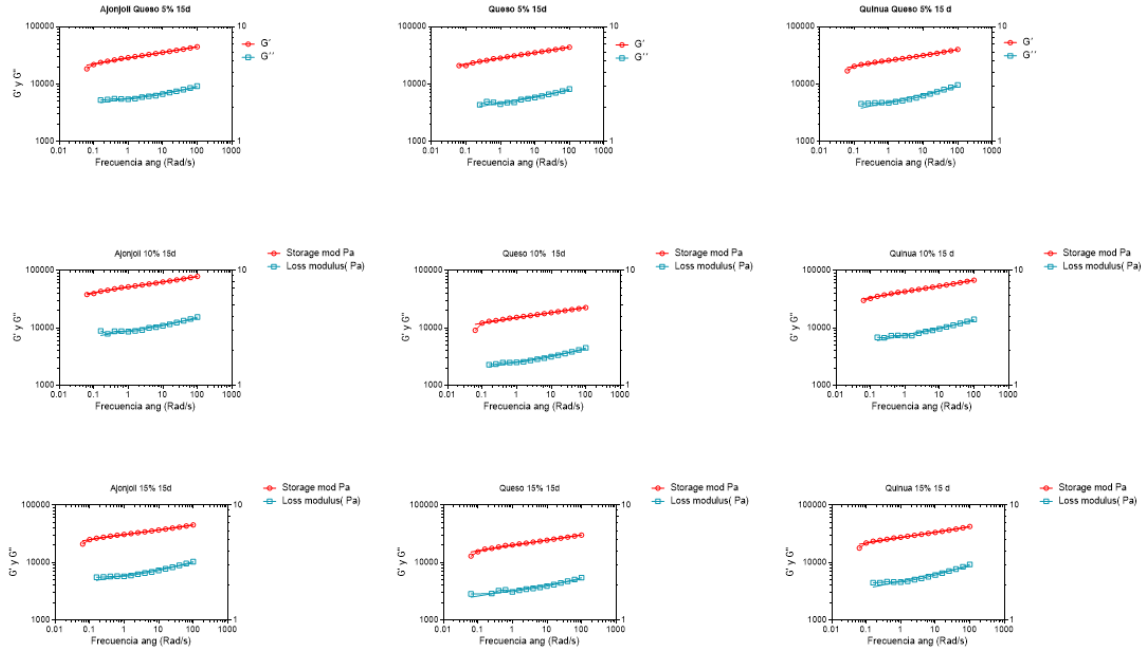
## Anexo J. Amplitud de deformación de las muestras (Q-AQ-QQ) con 5,10 y 15% de humectación. Día 15



**ANEXO K. Barrido de frecuencia comparación de las 3 muestras de arepas A- AQ, B- Q, C-QQ con (5-10-15%) de humectación. Día 0**



## ANEXO L. Barrido de frecuencia comparación de las 3 muestras de arepas A- AQ, B- Q, C-QQ con (5-10-15%) de humectación. Día 15



**ANEXO M. Resumen estadístico ANOVA del ensayo de barrido de frecuencia en las muestras (Ajonjolí, Queso, Quinoa) con (5,10,15) % de humectación a los 15 días de almacenamiento en congelación**

Table Analyzed	Frecuencia Loss modulus S t=15/20 días				
Two-way ANOVA	Ordinary				
Alpha	0,05				
Source of Variation	% of total variation	P value	P value summary	Significant?	
Interaction	36,44	0,1061	ns	No	
Row Factor	7,497	0,3807	ns	No	
Column Factor	24,74	0,0728	ns	No	
ANOVA table	SS	DF	MS	F (DFn, DFd)	P value
Interaction	0,0002523	4	6,307e-005	F (4, 9) = 2,618	P = 0,1061
Row Factor	5,190e-005	2	2,595e-005	F (2, 9) = 1,077	P = 0,3807
Column Factor	0,0001713	2	8,563e-005	F (2, 9) = 3,555	P = 0,0728
Residual	0,0002168	9	2,409e-005		