

# **Caracterización fisicoquímica de harinas y su utilización en un pan libre de gluten**

**Josselyn Andrea Calvopiña Armas**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2018

ZAMORANO  
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

# **Caracterización fisicoquímica de harinas y su utilización en pan libre de gluten**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniera en Agroindustria Alimentaria en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Josselyn Andrea Calvopiña Armas**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2018

## Caracterización fisicoquímica de harinas y su utilización en un pan libre de gluten

Josselyn Andrea Calvopiña Armas

**Resumen.** El gluten está compuesto de una mezcla de diferentes proteínas principalmente gliadinas y gluteninas, constituyendo alrededor del 75 al 80% de la proteína total en el trigo. El creciente aumento de la población con enfermedad celíaca e intolerancias alimentarias ha obligado a la industria de la panificación a desarrollar productos libres de gluten. Se plantearon los siguientes objetivos: caracterizar las propiedades físico-químicas y reológicas de las diferentes harinas, féculas y pseudocereal para la formulación de panes libres de gluten, evaluar y comparar la calidad del pan libre de gluten con los respectivos panes control. Se utilizó un BCA (Bloques Completos al Azar), con ocho tratamientos por duplicado, para un total de 16 unidades experimentales. La harina de amaranto presentó valores estadísticamente representativos para el atributo retención de solventes. Los mixogramas de las muestras M4 (20% harina de amaranto, 20% harina de tapioca, 50% harina de arroz, 10% harina de garbanzo) y M6 (20% harina de amaranto, 15% harina de tapioca, 35% harina de arroz, 30% harina de garbanzo) presentaron similitudes al alcanzar la altura máxima del pico de la curva respecto al tiempo de amasado. La harina de garbanzo obtuvo valores proteicos cercanos al 19%. La muestra HTVJ junto a la M5 (25% harina de amaranto, 25% harina de tapioca, 25% harina de arroz, 25% harina de garbanzo) presentaron diferencias estadísticas significativas para el atributo de volumen específico. Se demostró que es posible desarrollar panes libres de gluten con pseudocereal y almidones.

**Palabras clave:** Amaranto, arroz, capacidad de retención de solventes, garbanzo, tapioca, volumen específico.

**Abstract.** Gluten is composed of a mixture of different proteins mainly gliadins and glutenins, constituting around 75 to 80% of the total protein in wheat. The population with increasing celiac disease and food intolerances has forced the baking industry to develop gluten-free products. The following objectives were established: characterize the physical-chemical and rheological properties of the different flours, starches and pseudocereal for the formulation of gluten-free breads and evaluate and compare the quality of the gluten-free breads with the respective control breads. A RCB (Randomized Complete Blocks) was used with eight treatments by duplicate obtaining 16 experimental units. Amaranth flour had statistically representative values for the solvent retention attribute. The mixograms of samples M4 (20% amaranth flour, 20% tapioca flour, 50% rice flour, 10% chickpea flour) and M6 (20% amaranth flour, 15% tapioca flour, 35% flour rice, 30% chickpea flour) showed similarities when reaching the maximum height of the peak of the curve with respect to the kneading time. The chickpea flour obtained protein values close to 19%. The HTVJ sample together with the M5 (25% amaranth flour, 25% tapioca flour, 25% rice flour, 25% chickpea flour) showed significant statistical differences for the specific volume attribute. It was shown that it is possible to develop gluten-free breads with pseudocereal and starches.

**Key words:** Amaranth, chickpeas, rice, specific volume, solvent retention capacity, tapioca.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>19</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>20</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>21</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>26</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Formulación de mezclas de harinas.....	8
2. Peso hectolítrico y peso de mil granos .....	11
3. Humedad de garbanzo grano entero crudo y amaranto reventado. ....	12
4. Capacidad de retención de solventes (CRS).....	12
5. Caracterización proximal de harinas .....	13
6. Volumen específico del pan control y panes libres de gluten .....	17
7. Humedad y proteína de muestra óptima (M2).....	18

Figuras	Página
1. Curva estándar del RVA, mostrando las mediciones típicas.....	5
2. Partes de un mixograma. ....	9
3. Mixogramas de controles y mezclas de harinas. ....	15
4. Cortes transversales de los panes control y de las mezclas de harinas.....	16

Anexos	Página
1. Perfil viscoamilográfico de harina de amaranto.....	26
2. Perfil viscoamilográfico de harina de arroz.....	26
3. Perfil viscoamilográfico de harina de tapioca .....	27
4. Perfil viscoamilográfico de harina de garbanzo .....	27

## 1. INTRODUCCIÓN

El gluten está compuesto por una mezcla de diferentes proteínas dentro de las cuales las principales son las gliadinas y las gluteninas (Biesiekierski 2017), constituyendo alrededor del 75 al 80% de la proteína total en el trigo (Sciari *et al.* 2016). Las gliadinas son un grupo de proteínas que se caracterizan por ser solubles en carbinoles alifáticos inferiores como el etanol y en carbinoles aromáticos como el fenol siendo estas las responsables de la viscosidad y extensibilidad de la masa, mientras que las gluteninas son un grupo de proteínas solubles en ácidos y causantes de la elasticidad en la masa (Villanueva 2014). El término gluten hace referencia a todas las prolaminas que se caracterizan por poseer residuos de prolina y glutamina capaces de estimular la respuesta inmune en las personas con enfermedad celíaca (Jiménez *et al.* 2016). Esta proteína se encuentra en granos como el centeno, cebada, avena y trigo, a su vez, es importante considerar que existen granos que no poseen gluten tales como el arroz, maíz y sorgo.

La enfermedad celíaca, es conocida hace más de 2000 años sin embargo, fue a mediados del siglo XX en donde se la asoció a la ingesta de gluten (Ortiz *et al.* 2016/2017). Se caracteriza por un trastorno autoinmune en personas genéticamente predispuestas que desarrollan una reacción inmune al gluten, afectando principalmente las vellosidades del intestino delgado generando un aplanamiento de las mismas, con manifestaciones clínicas intestinales como: diarrea, desnutrición, pérdida de peso, esteatorrea y edema secundario a hipoalbuminemia y extra intestinales (Lebwohl *et al.* 2018). La enfermedad celíaca puede iniciar a cualquier edad de la vida ya sea desde la infancia, adolescencia y es atípico en la adultez. Su aparición es más frecuente en adultos de la tercera edad de los cuales se estima que el 20% de los pacientes tienen más de 60 años al momento de hacer el diagnóstico (Rodríguez 2010).

A nivel mundial la mayor prevalencia de enfermedad celíaca se sitúa en África en habitantes del Sahara occidental obteniendo una prevalencia de 5.6% mayor a la reportada en países europeos. Se ha estimado que la frecuencia de la enfermedad celíaca es de 0.54% niños de Brasilia (Chávez 2010). La prevalencia de enfermedad celíaca en la población occidental es de aproximadamente 1%, pero en América del Sur se ha reportado que la prevalencia es menor. En México la prevalencia de enfermedad celíaca basada en la presencia del anticuerpo IgA-tTG ha sido del 2.7%, por lo que se cree que la prevalencia en México es mayor o similar a la de otros países (Aguilar *et al.* 2015).

La enfermedad celíaca posee una prevalencia entre 0.75 a 1% general de la población diagnosticada por serología y biopsia. Esta se presenta tanto en niños como en adultos, en el último grupo la prevalencia por medio de diagnóstico es de 0.48% de la población general, de dos a tres veces más común en mujeres que en hombres, esta relación cambia

luego de los 65 años (Moscoso y Quera 2015). Además de la enfermedad celíaca también existe la sensibilidad al gluten no celíaca la cual, es un síndrome caracterizado por síntomas intestinales y extra intestinales los que están relacionados con la ingesta de gluten en pacientes que no padecen de una enfermedad celíaca ni de alergia al trigo y que presentan una mejora gracias a una dieta libre de gluten. El causante de la sensibilidad al gluten no celíaca es desconocido (Naik *et al.* 2018). Dentro de este grupo de enfermedades encontramos la alergia al trigo caracterizada como una reacción inmunológica adversa a las proteínas de trigo. Dependiendo del mecanismo y el tipo de exposición se clasifica en alergia alimentaria clásica, anafilaxia inducida por el ejercicio dependiente del trigo (WDEIA) en la cual, el alérgeno principal es un tipo específico de gliadina (w5-gliadina) y la anafilaxia inducida por el ejercicio y dependiente de alimentos (FDEIA) es una alergia alimentaria en la que la ingesta de alimentos por sí misma no induce a ningún síntoma, el trigo es el causante predominante de esta enfermedad (Edurne *et al.* 2017).

En diferentes investigaciones sobre panes libres de gluten, se han evaluado parámetros de calidad como volumen específico, firmeza, color, actividad de agua, composición proximal, energía bruta y miga. El pan elaborado a partir de amaranto, quínoa y edulcorantes presentó volumen específico, firmeza y actividad de agua acuosa similares a las del pan control (harina de arroz, almidón de papa, tapioca), pero presentaba un mayor contenido de proteínas, lípidos, ceniza y un área alveolar más grande (Machado *et al.* 2015).

En otro estudio se evaluó el efecto de la harina de garbanzo (la proteína posee propiedades emulsificantes, lo que mejora el volumen del pan) y la harina de nuez de tigre/chufa (tubérculo con un alto contenido de lípidos y un perfil saludable de ácidos grasos) en panes sin gluten con el fin de reemplazar total o parcialmente el emulsificante y la manteca vegetal en formulaciones sin gluten. La harina de garbanzo aumentó el volumen específico del pan, mientras que la harina de nuez de tigre/chufa redujo el volumen específico del pan y dio migas más oscuras. La presencia de ambas harinas mantuvo las características de horneado cuando se redujo o se eliminó la manteca vegetal y el emulsificante (Aguilar *et al.* 2015).

En la actualidad, debido al creciente aumento de la población con enfermedad celíaca e intolerancias alimentarias, la industria de panificación se ve obligada a desarrollar productos libres de gluten con características similares a los que sí lo contienen, representando un reto tecnológico, además de brindar la composición nutricional necesaria para la población que padece de enfermedad celíaca (Villanueva 2017).

Por lo anterior, se plantearon los siguientes objetivos:

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de las harinas elaboradas a partir de granos básicos, pseudocereales y almidón.
- Determinar las propiedades reológicas de las harinas y masas libres de gluten.
- Evaluar y comparar la calidad del pan libre de gluten con pan control.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### **Localización del estudio.**

El estudio tuvo lugar en el laboratorio de Tecnología de Cereales del Departamento de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Hermosillo, Sonora, México. Los análisis de grasa y ceniza se realizaron en el laboratorio de Análisis de Alimentos del mismo CIAD.

### **Materiales.**

Las materias primas utilizadas fueron adquiridas localmente en Hermosillo (Sonora, México): amaranto reventado de la marca Don Luis, garbanzo (*Cicer arietinum*) var. Blanco Sinaloa 92, arroz var. grano largo de la marca Verde Valle y tapioca de la marca E.W. Otros materiales utilizados fueron harina de trigo de la marca Los Gallos, harina de trigo Villa Juárez, azúcar, sal, manteca vegetal y levadura marca Nevada.

**El estudio se dividió en las siguientes fases.**

### **Fase I. Caracterización física de garbanzo grano entero crudo y amaranto reventado.**

#### **Peso hectolítrico.**

Se limpiaron los granos de garbanzo eliminando grano quebrado, chupado, en mal estado, y con impurezas. Se determinó el peso hectolítrico en un medidor Winchester Bushel Meter (Seedburo Equipment Company) de acuerdo al método 55-10 de la AACC (American Association of Cereal Chemists, 2000).

**Peso de mil granos.** Para determinar el peso de 1,000 granos se pesaron 10 grupos cada uno de 100 granos obtenidos al azar, en una balanza analítica (Ohaus), el resultado en gramos se multiplicó por 10.

**Cocción de garbanzo grano entero crudo.** La cocción del garbanzo se realizó en una proporción de 1 kg de garbanzo en 3 litros de agua destilada. El garbanzo fue adicionado en la olla cuando el agua rompió hervor, se mantuvo el nivel de agua en la olla sin revolver el contenido. Se coció el garbanzo por 50 min. Finalmente se retiró el garbanzo de la parrilla eléctrica (Taurus) y rápidamente se retiró el agua

**Secado de garbanzo grano entero.** El garbanzo se colocó en bandejas forradas de papel aluminio de manera homogénea sin sobrecargar la bandeja. El secado se realizó en un horno de aire forzado (VWR) a 60 °C por 24 horas.

**Humedad de garbanzo y amaranto reventado.** Se determinó la humedad del garbanzo grano entero crudo, cocido y seco mediante el método 44-15.02 de la AACCC (American Association of Cereal Chemists, 2000). Para el análisis se pesaron  $2 \pm 0.0005$  g de grano en cada plato y se colocaron en el horno de aire forzado marca VWR a 100 °C por 48 horas. Luego se pesó cada plato con la muestra seca. El análisis se realizó por triplicado. A la metodología oficial se le efectuó una modificación en el caso del amaranto reventado por lo que se pesó 1.5 g de muestra. Se obtuvo el porcentaje de humedad mediante la ecuación 1:

$$\% H = \frac{(P+MH) - (P+MS)}{(P+MH) - (P)} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

P= peso del plato.

MH= muestra húmeda.

MS = muestra seca.

**Molienda de materia prima (amaranto reventado, arroz, garbanzo y tapioca).** La molienda de la materia prima se realizó en el molino de martillos marca Pulvex 200 con una malla de 0.4 mm. Las harinas se almacenaron a temperatura ambiente en bolsas etiquetadas previamente.

## **Fase II. Caracterización reológica y proximal de harinas.**

**Propiedades viscoamilográficas.** La viscosidad de cada harina fue analizada con el “*Rapid Visco Analyser*” modelo Super 4 de la marca Newport Scientific, de acuerdo al procedimiento “Estándar 1” del fabricante. Se pesaron 3 g de muestra (14% base húmeda) y se le agregó el agua complementaria para realizar la prueba (aproximadamente 25 ml). La prueba empezó a 50 °C después de 1 min la temperatura aumentó gradualmente en 9.5 °C/min hasta llegar a 95 °C y se mantuvo por 2.5 min, a continuación, la temperatura descendió a 13.5 °C/min hasta llegar y mantener 50 °C por 2 min los cuales son los que culminan el análisis de 13 min.

### **Principales partes de una curva de viscosidad.**

**Temperatura de la viscosidad de pastificación.** se define como la temperatura mínima para la cocción de la muestra, puede influir en la estabilidad de otros componentes de la formulación (Figura 1).

**Pico de viscosidad.** es la capacidad de espesamiento del almidón, este parámetro esta correlacionado con la calidad del producto final.

**Relación del ablandamiento.** de una masa, líquido o de un semisólido, depende de la temperatura, intensidad de mezclado que se aplicó a la fórmula.

**Setback o retroceso.** es la reordenación de las moléculas de almidón y esta correlacionado con la textura de diversos productos.

**Viscosidad final.** define la calidad de la partícula de un producto, así pues, indica la capacidad del material para formar un gel después de la cocción y el enfriamiento (Perten Instruments 2015)

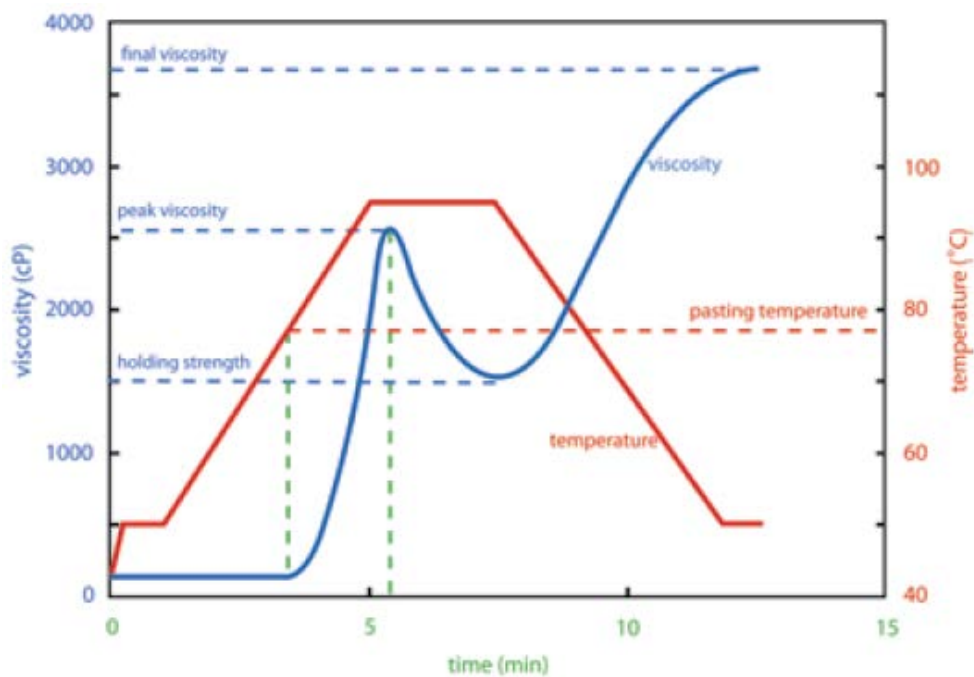


Figura 1. Curva estándar del RVA (Rapid Visco Analyser), mostrando las mediciones típicas (Perten Instruments 2015).

**Capacidad de retención de solventes (agua desionizada y solución de carbonato de sodio al 5%).** La capacidad de retención de solventes (CRS) con agua desionizada y con solución de carbonato de sodio 5% se realizó de acuerdo al método 56-10 de la AACC (American Association of Cereal Chemists, 2000). El análisis se realizó con 5 g de harina ajustada al 14% de humedad pesada en tubos de centrifugación de 50 ml previamente pesados vacíos. Se adicionó 25 g de agua desionizada y enseguida los tubos fueron agitados vigorosamente para suspender la harina por 5 segundos aproximadamente. A continuación, se dejó reposar por 20 min el contenido del tubo agitándolo cada 5, 10, 15 y 20 min. Posteriormente los tubos se sometieron a centrifugación durante 15 min a 3263 rpm. Luego se decantó el sobrenadante y se drenó el tubo en un ángulo de 90° por 10 min en una toalla

de papel. Se anotó el peso del tubo, la tapa y el gel; por último, se calculó la CRS (%) para cada solvente. El valor de CRS se obtuvo con la ecuación 2:

$$\% \text{CRS} = \left[ \frac{(C-A)}{(B-A)} \right] \times \left[ \frac{(100 - 14)}{(100 - \text{Humedad de harina conocida})} \right] - 1 \times 100 \quad [2]$$

Donde:

A= peso tubo + peso tapa.

B= peso tubo + peso harina.

C= peso tubo+ peso tapa+ peso del gel.

**Caracterización proximal de harinas.** Se realizó un análisis proximal a las harinas (amaranto reventado, arroz, garbanzo y tapioca), a las cuales se les determinó el porcentaje de humedad, proteína, grasa y ceniza.

**Humedad.** El análisis se realizó por triplicado mediante el método 44-16.01 de la AACC (American Association of Cereal Chemists, 2000). La humedad se obtuvo por secado en horno de aire forzado marca VWR a 100-105 °C por 24 horas. Se tararon los platos vacíos por dos horas en el horno de aire forzado luego se pesaron 2 g de harina y se colocaron los platos en el horno de aire forzado. Transcurridas las 24 horas se sacaron las muestras y se dejaron enfriar por 30 min en el desecador. Finalmente, se pesaron las muestras y se calculó el porcentaje de humedad de cada una. Para la harina de amaranto reventado se realizó una modificación a la metodología se pesaron 1.5 g de amaranto en un papel filtro tarado a 100 °C por 24 horas. Se determinó el porcentaje de humedad mediante el uso de la ecuación 3:

$$\% \text{H} = \frac{(P + \text{MH}) - (P + \text{MS})}{(P + \text{MH}) - (P)} \times 100 \quad [3]$$

Donde:

P = peso del plato.

MH= muestra húmeda.

MS= muestra seca.

**Proteína.** La determinación de proteína se realizó por la técnica micro-Kjeldahl (Labconco) con el método 46-13.01 de la AACC (American Association of Cereal Chemists, 2000). En este análisis se pesaron 0.2 ± 0.0005 g de harina previamente molida. Para realizar la determinación del % de proteína se utilizó 5.95 como factor de conversión en el arroz, mientras que para el amaranto y el garbanzo se utilizó un factor de conversión de 6.25, mientras que para el trigo es de 5.75. El análisis se realizó por triplicado. El porcentaje de proteína se obtuvo mediante el uso de las ecuaciones 4 y 5:

$$\% \text{N} = \frac{(\text{ml HCl} - \text{ml blanco}) \times \text{N} \times 14.007 \times 100}{\text{mg muestra}} \quad [4]$$

$$\% \text{ Proteína} = \%N \times (\text{factor de conversión}) \quad [5]$$

Donde:

N= normalidad del ácido clorhídrico.

**Grasa.** La determinación de grasa se realizó por la técnica Goldfish con el método 30-10.01 de la AACC (American Association of Cereal Chemists, 2000). En un papel filtro se pesaron  $2 \pm 0.0005$  g de harina. El análisis se realizó en la unidad de extracción Goldfish de la marca Labconco modelo 3500100. El análisis se realizó con éter de petróleo y por triplicado. El porcentaje de grasa se obtuvo mediante la ecuación 6:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{EE}{P} \times 100 \quad [6]$$

Donde:

EE= peso extracto etéreo= peso taza + EE -T.

P= peso de la muestra.

T= peso del vaso.

**Ceniza.** El análisis del contenido de ceniza se realizó por el método 08-01.01 de la AACC (American Association of Cereal Chemists, 2000). Se pesó  $2 \pm 0.0005$  g de harina en un crisol de porcelana y se realizó la determinación por incineración en una mufla (Thermolyne 30400 Furnace Sybron) a  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  por 4 horas. El análisis se realizó por triplicado. Para obtener el porcentaje de ceniza se utilizó la ecuación 7:

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{(P- p) \times 100}{M} \quad [7]$$

Donde:

P= peso crisol + ceniza.

p= peso crisol vacío.

M= peso muestra.

### **Diseño experimental.**

Se usó un diseño de Bloques Completos al Azar, dos tratamientos (agua des-ionizada y solución de carbonato de sodio al 5%), cuatro harinas (arroz, amaranto, garbanzo y tapioca). Usando el programa “Statistical Analysis System” (SAS® 9.4), se ejecutó una separación de medias por Duncan Alpha de  $p < 0.1$  para determinar si existió diferencia estadística entre las harinas de cada tratamiento. El estudio se realizó por cuadruplicado, obteniendo total de 32 unidades experimentales: cuatro harinas, por cuatro repeticiones, dos tratamientos. Además, se realizó una estadística descriptiva expresando los valores de la media y desviación estándar de cada uno de los parámetros evaluados en el análisis proximal.

### Fase III. Formulación, propiedades reológicas de las masa y evaluación de los panes.

**Formulación de mezclas de harinas.** Se realizaron seis formulaciones con las harinas, mismas que se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Formulación de mezclas de harinas.

Harinas	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5	Mezcla 6
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
<b>Amaranto</b>	10	30	10	20	25	20
<b>Tapioca</b>	10	10	20	20	25	15
<b>Arroz</b>	50	50	50	50	25	35
<b>Garbanzo</b>	30	10	20	10	25	30

**Mixogramas.** Los mixogramas se realizaron por duplicado y de acuerdo al método 54-40A de la AACCC (American Association of Cereal Chemists, 2000) en un mixógrafo de 30 g (National Manufacturing Co., Lincoln, NE). Se calculó el peso de la muestra ajustada al equivalente de humedad del 14% y la cantidad de agua en base a contenido de proteína de cada una de las harinas. De los mixogramas obtenidos se determinó el tiempo óptimo de amasado.

#### Parámetros para el análisis de mixogramas.

**Tiempo de desarrollo (Td).** Tiempo en segundos para la cual se alcanza la máxima resistencia de amasado, conocida como tiempo óptimo de mezcla ya que es el tiempo requerido para que la masa alcance una consistencia óptima (Figura 2).

**Resistencia en el pico (RP).** Máxima altura de la línea del mixograma, en centímetros.

**Caída en la resistencia.** Porcentaje de caída entre la altura máxima de la línea del mixograma en el tiempo óptimo de la mezcla y que pasa los 3 min.

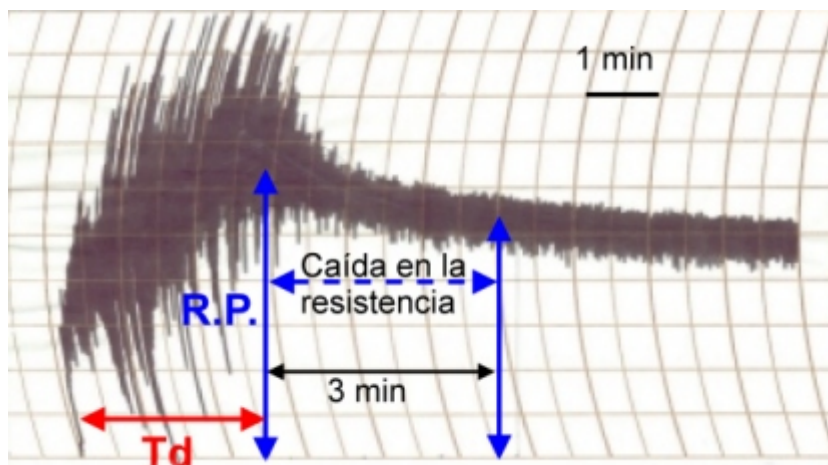


Figura 2. Partes de un mixograma (Álvarez. 2001).

**Elaboración de pan.** Para la elaboración del pan se siguió el método 10-10B de la AACC (American Association of Cereal Chemists, 2000) en un horno marca National Manufacturing Co. Lincoln, NE, usando mezclas de harinas, levadura (0.7 g), solución azúcar-sal (3.83 ml) se prepararon 100 ml de solución la misma que contenía 90.41 g de azúcar y 22.62 g de sal , manteca vegetal (1.2 ml) y agua (de acuerdo a mixograma) para preparar el pan. Se realizaron modificaciones en la metodología que consistió en omitir los ponchados, moldeando inmediatamente después del mezclado, se dio 90 min de fermentación a las masas en la cámara de fermentación marca National Manufacturing Co. Lincoln, NE. Se obtuvieron por duplicado panes de cada muestra (mezcla).

**Volumen específico (VE).** El volumen específico de los panes se determinó de acuerdo al método 10-05.01 de la AACC (American Association of Cereal Chemists, 2000). Los panes se pesaron en una balanza marca Sartorius Basic y el volumen se midió por desplazamiento de semilla de colza. Finalmente, se calculó el volumen específico a partir de la relación volumen /peso, y el resultado se expresó en  $\text{cm}^3/\text{g}$ .

**Humedad.** La determinación de humedad para pan se realizó siguiendo el método 44-15 A de la AACC (American Association of Cereal Chemists, 2000). El pan óptimo se molió en un molino de café (Krupps modelo GX4199). El análisis se realizó por triplicado. Se efectuó un pre-secado del pan molido sobre el horno de aire forzado (VWR) a 100 °C por 16 horas. Luego se realizó la determinación de humedad en el horno de aire forzado a 100 °C por 24 horas.

**Proteína.** La determinación de proteína se realizó por el método 46-13.01 de la AACC (American Association of Cereal Chemists, 2000). Este análisis se realizó por triplicado y el factor de conversión que se usó fue de 6.25.

**Diseño experimental.**

Para el volumen específico de los panes libres de gluten se utilizó un BCA (Bloques Completos al Azar), ocho tratamientos. Los tratamientos fueron la harina de trigo (control) y las mezclas de harinas (M1, M2, M3, M4, M5, M6). Usando el programa “Statistical Analysis System” (SAS® 9.4), a través de una separación de medias Duncan con una probabilidad de  $p < 0.05$  para determinar si existe una diferencia estadística entre el volumen de los diferentes panes. El estudio se realizó por duplicado, para un total de 16 unidades experimentales: ocho harinas, dos repeticiones.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **Fase I. Caracterización física de garbanzo grano entero crudo y amaranto reventado.**

El peso hectolítrico determina el estado fisiológico del grano ya que se encuentra relacionado con la densidad real del grano, a su vez la densidad se encuentra íntimamente determinada por la estructura biológica y la composición química del grano (Olán *et al.* 2012). Entre más sano sea el grano (menor cantidad de granos dañados, impurezas, picados y fusariosos) mayor será la extracción de harina (OEIDRUS 2006). El peso de mil granos es un indicador de tamaño y la densidad del grano, permite determinar el rendimiento en harina (Mauricio *et al.* 2004). En el Cuadro 2 se indica el peso hectolítrico de garbanzo con un resultado de 75.92 kg/hL siendo menor al reportado por (Reyes *et al.* 2000) quienes obtuvieron un valor de 79.02 kg/hL esto puede deberse a las condiciones ambientales en que se desarrolló el cultivo (ciclo de siembra, manejo del cultivo, etc.). A su vez, se puede observar el resultado del peso de mil granos de garbanzo que fue de 517.29 g el cual difiere al reportado por Arana (2014) ya que obtuvo un valor de 742.6 g posiblemente debido al tiempo de almacenamiento del grano.

Cuadro 2. Peso hectolítrico y peso de mil granos de garbanzo.

Grano	Peso hectolítrico kg/hL	Peso de mil granos (g)
	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE
Garbanzo	75.92 $\pm$ 0.70	517.29 $\pm$ 7.01

DE=Desviación estándar.

La humedad es un parámetro que incidió en la calidad y capacidad de conservación del grano. Si el contenido de humedad es alto favorece al ataque de hongos e insectos (Raspo 2014). En el Cuadro 3 se puede observar el resultado de humedad de garbanzo grano entero crudo que es de 6.45% el cual difiere al reportado por (Murriel y Rodríguez 2007) con un valor de 7.04%. Para el amaranto reventado se encontró una humedad 2.04% (Cuadro 3), este dato coincide con el reportado por (Muñoz *et al.* 2005) en su estudio sobre la fabricación de una máquina para reventar granos de amaranto indicando valores de humedad de 2.07% como consecuencia del proceso de reventado de los granos.

Cuadro 3. Humedad de garbanzo grano entero crudo y amaranto reventado.

Grano	Humedad (%)
	Media $\pm$ DE
Garbanzo entero crudo	6.45 $\pm$ 1.76
Amaranto reventado	2.04 $\pm$ 0.06

DE=Desviación estándar.

## Fase II. Caracterización reológica y proximal de harinas.

La capacidad de retención de solventes (%CRS) se realiza en harinas usando en exceso el solvente y se basa en el comportamiento de hinchamiento de las redes de polímeros con los solventes de diagnóstico (agua desionizada, carbonato de sodio al 5%) (Kweon *et al.* 2011). Esta prueba es usada para determinar la calidad y la habilidad para formar una masa viscoelástica (Vásquez *et al.* 2016). En el Cuadro 4 se indican los valores obtenidos de capacidad de retención de solventes para cada harina. Se identificaron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.1$ ) en harinas con agua desionizada y en harinas con solución de carbonato de sodio al 5%. En las harinas con agua desionizada como solvente la harina de amaranto obtuvo el mayor valor de % CRS (105.98%) obteniendo una diferencia estadísticamente significativa con las otras harinas como consecuencia de la carencia de gluten (Collar y Angioloni 2014) siendo el responsable de la interacción proteína-almidón otorgando las propiedades viscoelásticas previamente mencionadas en la masa (Yildirim *et al.* 2018). En el caso del carbonato de sodio al 5% la harina con el mayor valor de % CRS es la de amaranto con 104.37% consecuencia de la amilopectina liberada del almidón dañado relacionada con la viscosidad. Además, es una consecuencia del proceso de reventado de la semilla y el molido del mismo (Kweon *et al.* 2011).

Cuadro 4. Capacidad de retención de solventes de harinas.

Harina	Agua Desionizada (%)	Sol. Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> al 5% (%)
	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE
Arroz	96.95 $\pm$ 1.87 <sup>b</sup>	96.69 $\pm$ 1.51 <sup>b</sup>
Tapioca	96.19 $\pm$ 7.94 <sup>b</sup>	96.44 $\pm$ 9.62 <sup>ba</sup>
Garbanzo	95.54 $\pm$ 2.28 <sup>b</sup>	95.27 $\pm$ 2.12 <sup>b</sup>
Amaranto	105.9 $\pm$ 9.90 <sup>a</sup>	104.4 $\pm$ 5.74 <sup>a</sup>
C.V.(%)	5.90	5.49

DE=Desviación estándar. <sup>(a-b)</sup> medias con letras distintas en la misma columna indican diferencia estadística ( $P < 0.1$ ).

## Caracterización proximal de harinas.

El análisis proximal de harina de arroz, tapioca, garbanzo y amaranto reventado se muestra en el Cuadro 5. El valor de humedad de la harina de arroz obtenido (12.56%) excede al valor emitido por (NMX-F-160 1982) ya que establece que 12% es el valor máximo para este parámetro. Para la harina de tapioca el valor de humedad fue de 11.05% este valor se encuentra en un rango similar al mencionado por (Codex Alimentarius 2013a), quien

establece la humedad de 1-15% según la norma oficial mexicana (NOM-116-SSA1 1994). La humedad obtenida en la harina de garbanzo fue de 8.30% sobrepasando el valor presentado por (Umaña *et al.* 2013) que fue de 7.48% . Para la harina de amaranto reventado el valor fue de 4.97%, encontrándose dentro del valor reportado por (Carpio 2009) quien plantea que esta harina no debe sobrepasar el 12% de humedad esto se debe a que factores como las condiciones ambientales, la madurez del grano y las condiciones de almacenamiento influyen en su calidad (Contreras *et al.* 2010).

Con respecto a la proteína de las diferentes harinas, la de garbanzo presentó el mayor valor (19.07%), ya que posee una gran cantidad de aminoácidos esenciales según lo reportado por (Hernández *et al.* 2016) quienes obtuvieron un valor total de proteína de 22.95%. La tapioca tuvo un valor nulo de proteína que coincide con el reporte de (Granados *et al.* 2014), quienes obtuvieron un valor de 0.062% dado que esta harina es elaborada a partir de un almidón que es extraído de la yuca.

El mayor contenido de ceniza correspondió a la harina de garbanzo con un valor de 2.34%, siendo mayor al reportado por Pathania *et al.* (2017), quienes obtuvieron un valor de 2.25% debido al contenido de fósforo, potasio, calcio y magnesio (Lázaro y Sotelo 2017). La harina de tapioca contenía un porcentaje de ceniza de 0.12% ubicándose dentro del rango reportado por Codex Alimentarius (2013b) que reportó 3% como valor máximo para este parámetro, debido a que a medida que aumenta el contenido de almidón hay una disminución de la ceniza. Por lo que tiene un bajo contenido de minerales esenciales a excepción del potasio y del hierro.

El contenido de grasa de la harina de arroz fue de 0.56%, excediendo el valor reportado de 0.5%, mientras que en la harina de garbanzo el valor fue de 6.45% sobrepasando el valor reportado de 6% según Código alimentario argentino (2018) debido a que este grano es fuente importante de ácido linoleico, ácido oleico, ácidos grasos esenciales y polinsaturados (Osorio *et al.* 2008). La harina de tapioca obtuvo un valor de 0.16% siendo un valor inferior al emitido por Granados *et al.* (2014) que fue de 0.20% y en la harina de amaranto el contenido de grasa fue de 5.54% siendo un valor menor al reportado por (Collar y Angioloni 2014) que fue de 5.79%.

Cuadro 5. Caracterización proximal de harinas.

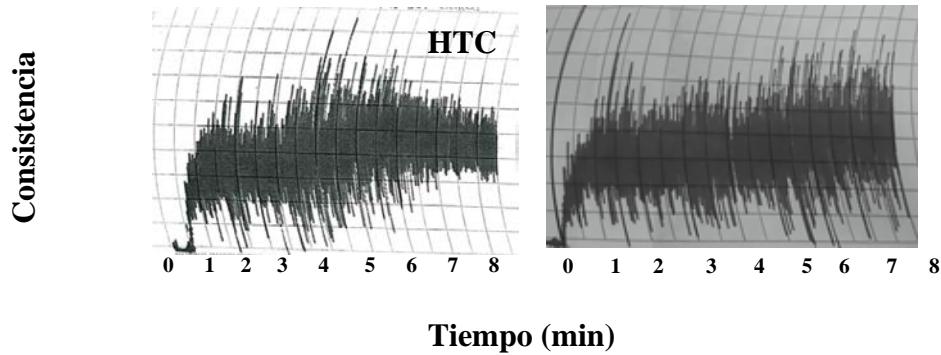
Harinas	Parámetro			
	Humedad (%) Media ± DE	Proteína (%) Media ± DE	Ceniza (%) Media ± DE	Grasa (%) Media ± DE
Arroz	12.6 ± 0.09	6.40 ± 1.21	0.52 ± 0.02	0.56 ± 0.04
Tapioca	11.1 ± 1.21	0.00 ± 0.00	0.12 ± 0.01	0.16 ± 0.03
Garbanzo	8.30 ± 0.02	19.1 ± 0.57	2.34 ± 0.01	6.45 ± 0.38
Amaranto	4.94 ± 0.04	12.4 ± 0.13	2.24 ± 0.14	5.54 ± 0.12

DE=Desviación estándar.

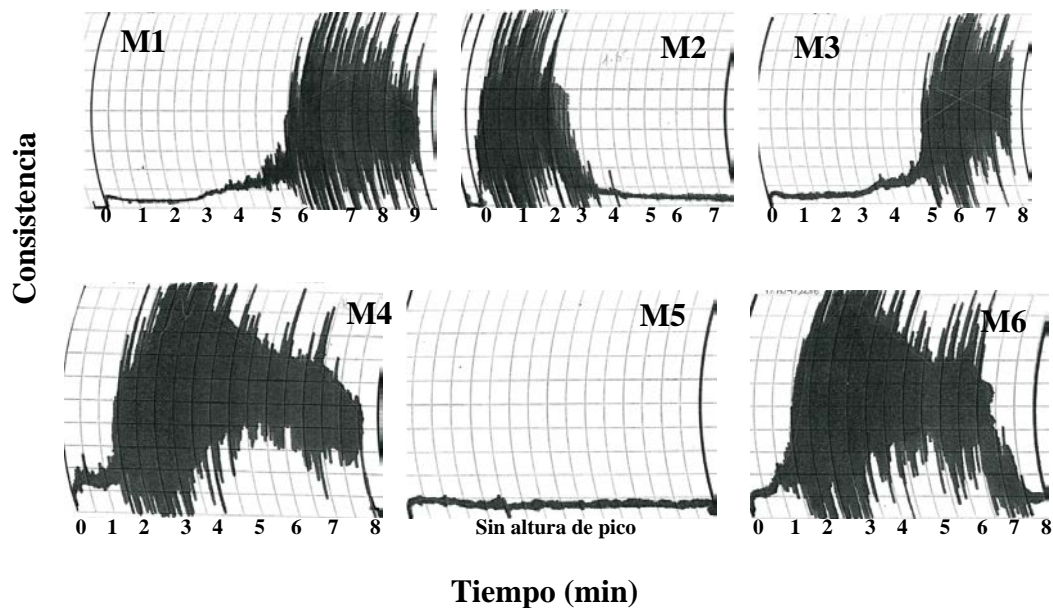
### **Fase III. Propiedades reológicas de la masa y evaluación de los panes.**

Los mixogramas grafican la resistencia que opone una masa al movimiento del brazo del mixógrafo. El pico máximo de dicha gráfica corresponde al punto en el que la masa genera mayor resistencia al amasado, lo que indica el tiempo necesario de amasado en minutos, para elaborar un pan (Gaido y Dubois 2008).

En la figura 3 se muestran los mixogramas obtenidos de los controles de harina de trigo y las mezclas de harinas. En el mixograma correspondiente al control (HTC) la altura máxima del pico de la curva se alcanzó a los 5 min siendo este el tiempo óptimo de amasado en comparación con el control HTVJ que alcanzó la altura máxima del pico de la curva a los 7 min y 19 seg. Esto se debe a la cantidad de agua que se colocó en el segundo control. En el caso de los mixogramas de HTC (harina de trigo “Los Gallos”) y HTVJ (harina de trigo Villa Juárez) ambos picos presentan ciertas similitudes al alcanzar su altura máxima esto se debe a que ambas muestras son de harina de trigo. En la muestra M1 (10% harina de amaranto, 10% harina de tapioca, 50% harina de arroz, 30% harina de garbanzo) la altura máxima del pico de la curva tarda en desarrollarse, por lo que el tiempo óptimo de amasado para esta mezcla es a los 7 min y 4 seg. A diferencia de los otros mixogramas el de la muestra M5 (25% harina de amaranto, 25% harina de tapioca, 25% harina de arroz, 25% harina de garbanzo) no presenta una altura máxima del pico de la curva por lo tanto no se establece un tiempo óptimo de mezclado. Los mixogramas de las muestras M4 (20% harina de amaranto, 20% harina de tapioca, 50% harina de arroz, 10% harina de garbanzo) y M6 (20% harina de amaranto, 15% harina de tapioca, 35% harina de arroz, 30% harina de garbanzo) presentan una similitud en el desarrollo de la altura máxima del pico de la curva debido a la formulación de mezclas ya que ambas mezclas contienen menor cantidad de harina de tapioca y amaranto.



Controles



Mezclas de harinas libres de gluten

Figura 3. Mixogramas de controles y mezclas de harinas.

\*HTC: harina de trigo “Los Gallos”, HTVJ: harina de trigo “Villa Juárez”, M1 ( 10% harina de amaranto, 10% de harina de tapioca, 50% harina de arroz, 30% harina de garbanzo) M2 (30% harina de amaranto, 10% harina de tapioca, 50% harina de arroz, 10%harina de garbanzo) M3 (10%harina de amaranto, 20% harina de tapioca, 50% harina de arroz, 20% harina de garbanzo) M4 (20% harina de amaranto, 20% harina de tapioca, 50% harina de arroz, 10% harina de garbanzo) M5 (25% harina de amaranto, 25% harina de tapioca, 25% harina de arroz, 25% harina de garbanzo) M6 (20% de amaranto, 15% harina de tapioca, 35% harina de arroz, 30% harina de garbanzo).

La figura 4 muestra los cortes transversales del pan control y los panes libres de gluten. La estructura de la miga y el volumen en el pan son parámetros de calidad para los consumidores. El pan control presenta alveolos homogéneos pequeños y finos los cuales corresponden a las características óptimas de un pan debido a que son elaborados a partir de harina de trigo. El pan control y los libres de gluten presentan diferente color esto se

debe a la presencia de harina de garbanzo en las muestras libres de gluten, mientras que en la muestra de pan M2 (30% harina de amaranto, 10% harina de tapioca, 50% harina de arroz, 20% harina de garbanzo) se presenta una miga homogénea. Los panes M1 (10% harina de amaranto, 10% harina de tapioca, 50% harina de arroz, 30% harina de garbanzo), M3 (10% harina de amaranto, 20% harina de tapioca, 50% harina de arroz, 20% de harina de garbanzo), M4 (20% harina de amaranto, 20% harina de tapioca, 50% harina de arroz, 20% harina de garbanzo) y M6 (20% harina de amaranto, 15% harina de tapioca, 35% harina de arroz, 30% harina de garbanzo) presentan un aspecto más denso, sin homogeneidad con alvéolos no uniformes y miga dura esto se debe a que presentan en su formulación mayor cantidad de harina de arroz. Este ingrediente es incapaz de formar una red proteica lo que causa que el dióxido de carbono formado durante la fermentación no pueda ser retenido en la masa del pan, lo que origina una miga dura (León y Rosell 2007). Por otra parte, la muestra de pan M5 (25% harina de amaranto, 25% harina de tapioca, 25% harina de arroz, 25% harina de garbanzo) presentó fisuras e inconsistencias al momento de formar la miga (Vega *et al.* 2015), lo cual pudiera ser un problema de moldeo.

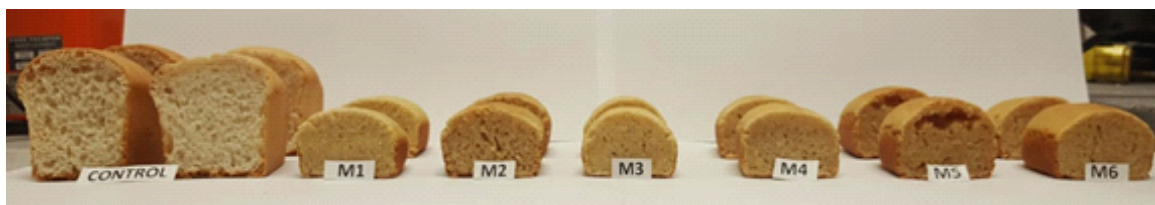


Figura 4. Cortes transversales de los panes control y de las mezclas de harinas.

El volumen específico es un parámetro de calidad del pan e involucra el volumen neto del pan y el peso del mismo (Edurne *et al.* 2017). En el Cuadro 6 se muestran los valores de volumen específico de las diferentes muestras de pan. Se identificaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los panes control y los libres de gluten. En los panes control, la muestra HTVJ presentó mayor volumen específico ( $3.58 \text{ cm}^3/\text{g}$ ), pero fue estadísticamente similar al pan HTG. Debido a que el HTVJ proviene de una variedad mejorada genéticamente de trigo en consecuencia esta es una harina con gluten más balanceado y da mayor volumen en el pan (Valenzuela *et al.* 2012). Existen diferencias significativas entre los panes libres de gluten donde el mayor volumen específico lo obtuvo la muestra de pan M5 ( $1.52 \text{ cm}^3/\text{g}$ ) debido a las proporciones de harina (25% arroz, 25% amaranto, 25% tapioca y 25% garbanzo) y el peor volumen específico es de la muestra de pan M1 ( $1.26 \text{ cm}^3/\text{g}$ ) como resultado de la variación en las formulaciones de las harinas (10% amaranto, 10% tapioca, 50% arroz y 30% garbanzo) esto se debe a que la harina de tapioca ayuda al desarrollo de textura (Villanueva *et al.* 2018), la de amaranto provoca el aumento de la capacidad de retención de humedad y la vida útil, pero disminuye el tiempo de mezclado, estabilidad en la masa, temperatura de gelatinización, viscosidad y el volumen del pan (Arendt y Zannini 2013). La harina de garbanzo es en gran medida la responsable del color amarillo de los panes (Pathania *et al.* 2017), debido al contenido de aminoácidos la proteína que posee el garbanzo causa un aumento en la expansión de la miga (Miñarro *et al.* 2012), la harina de arroz otorga el sabor suave y apariencia pálida, volumen específico

más alto y menor dureza (Mancebo *et al.* 2015). Además de bajos niveles de sodio, proteína, grasa y una gran cantidad de carbohidratos fácilmente digeribles (Mert *et al.* 2015).

Cuadro 6. Volumen específico de los panes control y libres de gluten.

Formulación	Volumen Específico (cm <sup>3</sup> /g)
	Media ± DE
HTG <sup>1</sup>	3.45 ± 0.05 <sup>a</sup>
HTVJ <sup>2</sup>	3.58 ± 0.04 <sup>a</sup>
M1 <sup>3</sup>	1.26 ± 0.08 <sup>d</sup>
M2 <sup>4</sup>	1.46 ± 0.02 <sup>cb</sup>
M3 <sup>5</sup>	1.33 ± 0.08 <sup>cd</sup>
M4 <sup>6</sup>	1.38 ± 0.04 <sup>cbd</sup>
M5 <sup>7</sup>	1.52 ± 0.15 <sup>b</sup>
M6 <sup>8</sup>	1.51 ± 0.03 <sup>cb</sup>
C.V. (%)	3.67

<sup>1</sup> Harina de trigo “Los Gallos” <sup>2</sup> Harina de trigo “Villa Juárez” <sup>3</sup> Mezcla 1 ( 10% harina de amaranto, 10% de harina de tapioca, 50% harina de arroz, 30% harina de garbanzo) <sup>4</sup> Mezcla 2 ( 30% harina de amaranto, 10% harina de tapioca, 50% harina de arroz, 10%harina de garbanzo) <sup>5</sup> Mezcla 3 (10%harina de amaranto, 20% harina de tapioca, 50% harina de arroz, 20%harina de garbanzo) <sup>6</sup> Mezcla 4 (20% harina de amaranto, 20% harina de tapioca, 50% harina de arroz, 10% harina de garbanzo) <sup>7</sup> Mezcla 5 (25% harina de amaranto, 25% harina de tapioca, 25% harina de arroz, 25% harina de garbanzo) <sup>8</sup> Mezcla 6 (20% de amaranto, 15% harina de tapioca, 35% harina de arroz, 30% harina de garbanzo) DE=Desviación estándar. <sup>(a-d)</sup> medias con letras distintas en la misma columna indican diferencia estadística (P < 0.05)

#### **Análisis proximal del pan elaborado con la mejor mezcla.**

El contenido de humedad y de proteína del pan elaborado con la mejor mezcla (M2) se muestra en el Cuadro 7. El contenido de humedad fue de 31.53% y este difiere al obtenido por (Torres *et al.* 2014) debido a que en el estudio realizado por estos autores se elaboraron panes libres de gluten a base de harina de quinua, arroz, maíz y mandioca/tapioca obteniendo un resultado de 45.66% para el parámetro de humedad. La razón de que los valores difieran es la formulación que se usó como mejor mezcla ya que contiene 50% de arroz y 10% de tapioca. En cuanto al contenido de proteína fue de 8.55% y el reportado por (Machado *et al.* 2015) fue de 4.14% esto se debe a los ingredientes que utilizaron para la elaboración de los panes libres de gluten (harina de amaranto, arroz, tapioca y edulcorantes). Estos valores difieren con los reportados debido a que la formulación que se elaboró contenía 30% de amaranto en la muestra de pan óptima la cual aporta una excelente cantidad de aminoácidos (Rastogi y Shukla 2013). En la formulación propuesta por Machado *et al.* (2015) las proporciones fueron: harina de arroz 49.32%, tapioca 16.43% y de amaranto 20%.

Cuadro 7. Porcentajes de humedad y proteína en pan elaborado con mezcla M2.

<b>Parámetro</b>	<b>Pan (M2)% Media ± DE</b>
Humedad	31.53 ± 0.03
Proteína	8.55 ± 0.22

Mezcla 2 (30% harina de amaranto, 10% harina de tapioca, 50% harina de arroz y 10% harina de garbanzo). DE=Desviación estándar

#### 4. CONCLUSIONES

- La harina de garbanzo alcanzó porcentajes de proteína de 19.07%, en grasa de 6.45% y ceniza con 2.34% en comparación con las demás harinas en este estudio.
- La harina de amaranto presentó los porcentajes más altos en la capacidad de retención de solventes con agua desionizada que fue de 105.98% y en la solución de carbonato de sodio al 5% con 104.37%.
- Se obtuvieron diferencias significativas entre los volúmenes específicos de los panes control y libres de gluten, donde el mejor volumen específico lo obtuvo la muestra control HTVJ (harina de trigo “Villa Juárez”) y la muestra de las mezclas de harinas M5 (25% harina de amaranto, 25% harina de tapioca, 25% harina de arroz, 25% harina de garbanzo) como consecuencia de la formulación.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Realizar una optimización de las mezclas de harinas.
- Efectuar un análisis sensorial con panelistas que padezcan de enfermedad celíaca o intolerancia al gluten para evaluar las diferentes muestras de pan libre de gluten.
- Hacer mezclas de harinas con una sustitución parcial de harina de trigo.
- Elaborar otros productos de panificación y repostería libres de gluten.

## 6. LITERATURA CITADA

AACC (American Association of Cereal Chemists). 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. Volumes 1-2. 10th.Edition American Association of Cereal chemists. St. Paul, MN, USA.

Aguilar N, Albanell E, Miñarro B, Capellas M. 2015. Chickpea and tiger nut flours as alternatives to emulsifier and shortening in gluten-free bread. LWT - Food Science and Technology. 62(1):225–232. doi:10.1016/j.lwt.2014.12.045.

Aguilar N, Motola M, Toapanta L, Lavenant I, Uribe M, Lizardi J. 2015. Prevalencia de la enfermedad celíaca en una población mexicana. Invest Med Sur Mex. 22(2):64–69.

Álvarez L. 2001. Mixogramas; [ consultado 2018 nov 08] 2p. [http://members.tripod.com/lucrecia\\_alvarez/Mixograma.htm](http://members.tripod.com/lucrecia_alvarez/Mixograma.htm).

Arana A. 2014. Procesamiento de granos para la elaboración de pan multigrano y estimación del índice glucémico *in vitro*. [Tesis]. Hermosillo,México: CIAD. 109 p.

Arendt E, Zannini E. 2013. Amaranth. Oxford: Woodhead Publishing. 1 ressource en ligne (xxvi, 485 (Woodhead Publishing series in food science, technology and nutrition; no. 248). ISBN: 9780857094131.

Biesiekierski J. 2017. What is gluten? J Gastroenterol Hepatol. 32 Suppl 1:78–81. eng. doi:10.1111/jgh.13703.

Carpio J. 2009. Estudio de factibilidad técnica para la producción de harina de amaranto. [Tesis]. El Salvador: Universidad de El Salvador. 111 p.

Chávez J. 2010. Enfermedad celíaca en México. Revista de Gastroenterología de México. 75(2):238–240.

Codex Alimentarius. 2013a. Caracterización de harina de yuca como materia prima para la elaboración de pastel [ECORFAN]. Guanajuato:; [consultado 2013 ago 20 ]. 12 p. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/search/es/?cx=018170620143701104933%3Aqq82jsfba7w&q=norma+del+codex+para+la+harina+de+yuca+comestible+&cof=FORID%3A9&siteurl=www.fao.org%2Ffao-who-codexalimentarius%2Fes%2F&ref=www.google.hn%2F&ss=3043j4985215j7>.

Codex Alimentarius. 2013b. Norma para la harina de yuca comestible; [consultado 2013 ago 23]. Codex stan 176-1989. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/en/>.

Código alimentario argentino. 2018. Alimentos farináceos-cereales, harinas y derivados. [ANMAT]. Buenos Aires: ANMAT. [http://www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas\\_alimentos\\_caa.asp](http://www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas_alimentos_caa.asp).

Collar C, Angioloni A. 2014. Pseudocereals and teff in complex breadmaking matrices: impact on lipid dynamics. *Journal of Cereal Science*. 59(2):145–154. doi:10.1016/j.jcs.2013.12.008.

Contreras E, Jaimez J, Porras G, Juárez L, Añorve J, Villanueva S. 2010. Propiedades físicoquímicas y sensoriales de harinas para prepara atole de amaranto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 60(2):184–191.

Edurne S, Idoia L, Arrate L, Bustamente M, Navarro V, Fernández M, Miranda J, editores. 2017. Nutritional and analytical approaches of gluten-free diet in celiac disease. Switzerland: Springer Nature. 98 p. ISBN: 978-3-319-53341-4.

Gaido A, Dubois M. 2008. Influencia edl estrés térmico en la calidad panadera del trigo: progenies con diferentes niveles de sensibilidad. *AGRISCIENIA*. 25(2):89–96.

Granados C, Guzman L, Acevedo D, Díaz M, Herrera A. 2014. Propiedades funcionales del almidón de sagu. *Biotechnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. 12(2):90–96.

Hernández E, Rocha M, Márquez R, Talamas R, Galicia T, Torres N, Ramírez B. 2016. Caracterización de masas con base en mezclas de frijol-garbanzo, maíz. *Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos*. 1(2):30–36.

Jiménez A, Martínez R, Quiles M, Majid J, González M. 2016. Enfermedad celiaca y nuevas patologías relacionadas con el gluten. *Nutr Hosp*. 33(Suppl 4):345. spa. doi:10.20960/nh.345.

Kweon M, Slade L, Levine H. 2011. Solvent Retention Capacity (SRC) testing of wheat flour: principles and value in predicting flour Functionality in Different Wheat-Based Food Processes and in Wheat Breeding—A Review. *Cereal Chemistry Journal*. 88(6):537–552. doi:10.1094/CCHEM-07-11-0092.

Lázaro J, Sotelo M. 2017. Optimización por diseño de mezcla de un snack de grits de maíz amarillo (*Zea mays*), harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y harina de garbanzo (*Cicer arietinum*) obtenido mediante extrusión [Tesis]. Nuevo Chimbote, Perú: Universidad Nacional del Santa. 131 p.

Lebwohl B, Sanders D, Green P. 2018. Coeliac disease. *The Lancet*. 391(10115):70–81. doi:10.1016/S0140-6736(17)31796-8.

León E, Rosell C, editores. 2007. De tales harinas, tales panes: Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. 1ª ed. Córdoba [Argentina]: Hugo Báez. 473 p. ISBN: 9769871311071.

Machado N, Steel C, Alvim I, Morais E, Andre H. 2015. Addition of quinoa and amaranth flour in gluten-free breads: Temporal profile and instrumental analysis. *LWT - Food Science and Technology*. 62(2):1011–1018. doi:10.1016/j.lwt.2015.02.029.

Mancebo CM, Merino C, Martínez MM, Gómez M. 2015. Mixture design of rice flour, maize starch and wheat starch for optimization of gluten free bread quality. *J Food Sci Technol*. 52(10):6323–6333. eng. doi:10.1007/s13197-015-1769-4.

Mauricio R, Figueroa J, Taba S, Reyes M, Rincón F, Mendoza A. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Fitotecnia Mexicana*. 27(3):213–222.

Mert S, Sahin S, Sumnu G. 2015. Development of gluten-free wafer sheet formulations. *LWT - Food Science and Technology*. 63(2):1121–1127. doi:10.1016/j.lwt.2015.04.035.

Miñarro B, Albanell E, Aguilar N, Guamis B, Capellas M. 2012. Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*. 56(2):476–481. doi:10.1016/j.jcs.2012.04.012.

Moscoso J, Quera R. 2015. Enfermedad celiaca: revisión. *Revista Médica Clínica Las Condes*. 26(5):613–627. doi:10.1016/j.rmcl.2015.09.007.

Muñoz F, Gaytán J, Lugo M, Martínez J, Flores E. 2005. Fabricación de una máquina para reventar granos de amaranto. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 14:1–8.

Murriel L, Rodríguez A. 2007. Evaluación del tratamiento térmico sobre la textura y digestibilidad del garbanzo (*Cicer arietinum L.*) precocido. *Pueblo cont*. 18(1):97–98.

Naik D, Seidner L, Adams W. 2018. Nutritional consideration in celiac disease and nonceliac gluten sensitivity. *Gastroenterol Clin North Am*. 47(1):139–154. eng. doi:10.1016/j.gtc.2017.09.006.

NMX-F-160. 1982. Harina de Arroz. México: NMX. 5 p. (083). 1982; [actualizado 1982]. [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:byYe\\_KhfgZQJ:https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-160-1982.PDF+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=hn](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:byYe_KhfgZQJ:https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-160-1982.PDF+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=hn).

NOM-116-SSA1. 1994. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico. México: Diario Oficial de la Federación (116). 1994; [actualizado 1994]. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/116ssa14.html>.

OEIDRUS (Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable). 2006. Informe de la calidad del trigo. México: 5 p. <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Industrializacion/InformeCalidad.pdf>.

Olán M, Espitia E, López H, Villaseñor H, Peña R, Herrera J. 2012. Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. REMEXCA. 3(2):271–283.

Ortiz C, Valenzuela R., Lucero Y. 2016/2017. Celiac disease, non celiac gluten sensitivity and wheat allergy: comparison of 3 different diseases triggered by the same food: Comparación de patologías diferentes gatilladas por un mismo alimento [Celiac disease, non celiac gluten sensitivity and wheat allergy: comparison of 3 different diseases triggered by the same food]. Sociedad Chilena de Pediatría. 88(3):417–423. spa. doi:10.4067/S0370-41062017000300017.

Osorio P, Mendoza M, Bello L. 2008. Disponibilidad del almidón de pastas elaboradas a partir de mezclas con harina de garbanzo [Tesis]. Yautepec, Morelos, México: Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica. 15 p.

Pathania S, Kaur A, Sachdev P. 2017. Chickpea flour supplemented high protein composite formulation for flatbreads: effect of packaging materials and storage temperature on the ready mix. Food Packaging and Shelf Life. 11:125–132. doi:10.1016/j.fpsl.2017.01.006.

Perten Instruments. 2015. Rapid Visco Analyser (RVA). Perten Instruments; [consultado 2018 jul 15]. 3.3. [https://www.perten.com/Global/Brochures/RVA/RVA%20Method%20Brochure\\_20151110.pdf](https://www.perten.com/Global/Brochures/RVA/RVA%20Method%20Brochure_20151110.pdf).

Raspo E. 2014. Comparación de determinación de humedad en garbanzo (*Cicer arietinum* L.) por método de estufa y a través de instrumentos de determinación electrónicos [Tesis]. Córdoba-España: Universidad Nacional de Córdoba. 13 p.

Rastogi A, Shukla S. 2013. Amaranth: a new millennium crop of nutraceutical values. Crit Rev Food Sci Nutr. 53(2):109–125. eng. doi:10.1080/10408398.2010.517876.

Reyes C, Okamura J, Armienta E, Gómez R, Milán J. 2000. Hard to cook phenomenon in chickpeas (*Cicer arietinum* L): Effect of accelerated storage on quality. Plant Foods for Human Nutrition. 55:229–291.

Rodriguez L. 2010. Enfermedad celiaca. IT del Sistema Nacional de Salud. 34(2):49–59.

Sciari LS, Steffolani M, León AE. 2016. El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan. AGRISCIENTIA. 33(2):61–74.

Torres M, Jiménez M, Bárcenas M. 2014. Harinas de frutas y/o leguminosas y su combinación con harina de trigo. 8(1):94–102.

Umaña J, Álvarez C, Lopera S, Gallardo C. 2013. Caracterización de harinas alternativas de origen vegetal con potencial aplicación en la formulación de alimentos libres de gluten. Revista Alimentos Hoy. 22(29):33–46.

Valenzuela V, Fuentes G, Figueroa P, Chávez G, Félix J, Mendoza J. 2012. Villa Juárez F2009, variedad de trigo harinero para el noreste de México. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(7):1447–1451.

Vásquez F, Verdú S, Islas A, Barat J, Grau R. 2016. Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. *Revista Iberoamericana de tecnología de postcosecha*. 17(2):307–317.

Vega O, Marco R, Di Risio C. 2015. Propiedades físicas y sensoriales de un pan fresco, con la adición de las enzimas lacasa, xilanasas y lipasa. *EIA*. 12(24):9–10.

Villanueva M, Ronda F, Moschakis T, Lazaridou A, Biliaderis G. 2018. Impact of acidification and protein fortification on thermal properties of rice, potato and tapioca starches and rheological behaviour of their gels. *Food Hydrocolloids*. 79:20–29. doi:10.1016/j.foodhyd.2017.12.022.

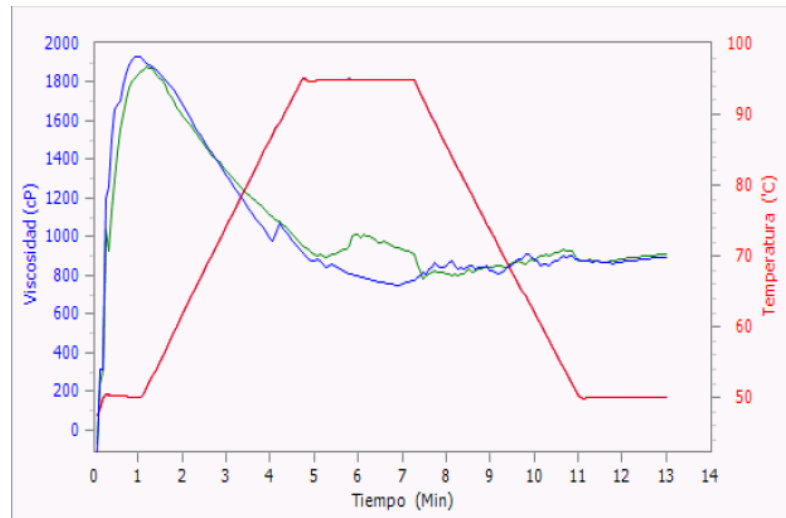
Villanueva R. 2014. *Ingeniería Industrial*. Lima-Peru: JERODRI. 16 p. (El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación; vol. 32). ISBN: 1025-9929.

Villanueva R. 2017. Productos libres de gluten: un reto para la industria de los alimentos. *Ingeniería Industrial*. (35):183–194.

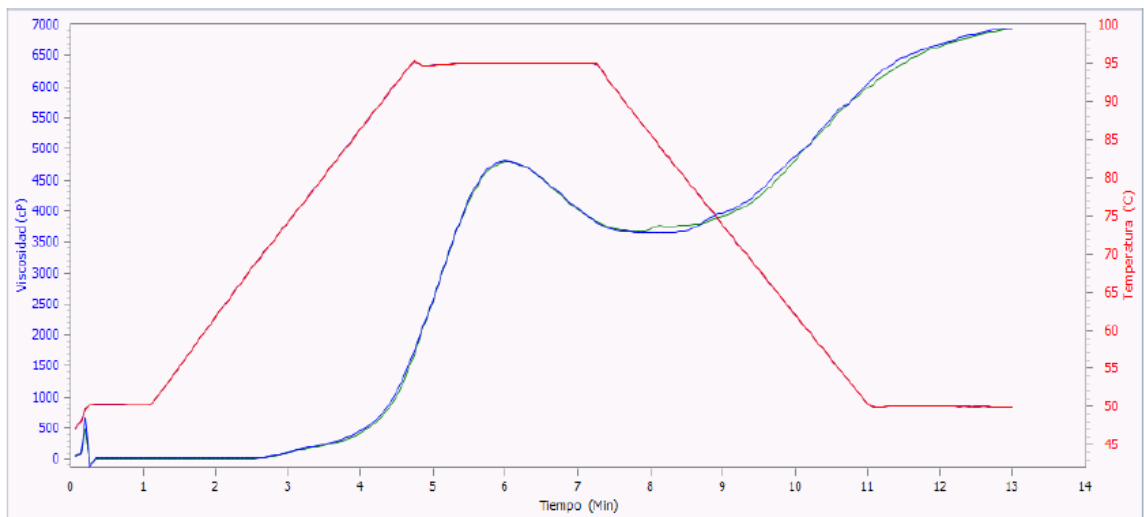
Yildirim R, Gumus T, Arici M. 2018. Optimization of a gluten free formulation of the turkish dessert revani using different types of flours, protein sources and transglutaminase. *LWT*. 95:72–77. doi:10.1016/j.lwt.2018.04.004.

## 7. ANEXOS

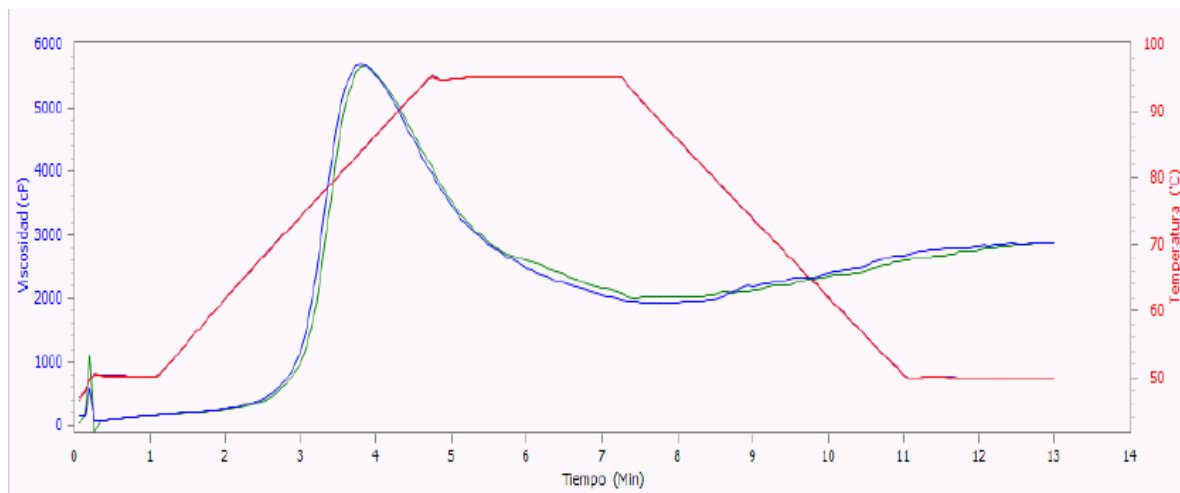
**Anexo 1.** Perfil viscoamilográfico de harina de amaranto.



**Anexo 2.** Perfil viscoamilográfico de harina de arroz.



**Anexo 3.** Perfil viscoamilográfico de harina de tapioca.



**Anexo 4.** Perfil viscoamilográfico de harina de garbanzo.

