

***EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES ELÁSTICAS Y MECÁNICAS  
DE UNA MASA DE PAN CON SUSTITUCIÓN DE HARINA DE  
CAMOTE (IPOMOEA BATATA)***

***EVALUATION OF ELASTICITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF BREAD  
DOUGH MADE WITH REPLACED FLOUR POTATO (IPOMOEA BATATA)***

*Ely Fernando Sacón Vera<sup>1\*</sup>, Gema Fernanda Rivadeneira Vera<sup>1</sup>,  
Alex Alberto Dueñas Rivadeneira<sup>2</sup>, Ulbio Eduardo Alcívar Cedeño<sup>2</sup>,  
José Fernando Zambrano Rueda<sup>1</sup> y Nancy López Bello<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Carrera de Agroindustrias, Escuela Superior Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Campus Politécnico: Sitio "El Limón" Calceta, Manabí, Ecuador.

<sup>2</sup> Departamento de Procesos Agroindustriales. Universidad Técnica de Manabí. Avenida Urbina, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Carretera a Camajuani km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Junio 16, 2016; Revisado: Julio 5, 2016; Aceptado: Julio 15, 2016

**RESUMEN**

Se evaluó el efecto de la incorporación de harina de camote, con sustitución del 30% en 1kg de harina de trigo, para determinar el comportamiento de las propiedades elásticas y mecánicas durante la etapa amasado y horneado del pan. Para la evaluación se estudiaron 5 variedades que fueron: Morado Brasil, Morado Ecuador, Guayaco Morado, Ina y Toquecita, las propiedades evaluadas fueron: textura (dureza, elasticidad, firmeza, masticabilidad), mediante texturómetro Bloomfield y volumen mediante la norma INEN (NTE INEN 0530: 80). Se empleó un diseño completamente al azar, utilizando Análisis de Varianza al 5% de significación. Los resultados alcanzados mostraron que el atributo elasticidad en la variable textura presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Del análisis se llegó a la conclusión de que la inclusión de harina Toquecita en la mezcla para la formación de la masa, presentó la mayor elasticidad de 13,32mm sin embargo la harina de la variedad Morado Ecuador presentó un valor de 6,24 mm de elasticidad, ideal tanto para la maleabilidad de la masa, como para la frescura del pan y en cuanto a volumen la inclusión de Harina Morado Ecuador y de Ina, en la formulación del pan,

Copyright © 2016. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

\* Autor para la correspondencia: Ely F. Sacón, Email: [saconeli@hotmail.com](mailto:saconeli@hotmail.com)

presentaron un aumento en el volumen con un 93,30 y 93,67cm<sup>3</sup> respectivamente, cercanos al valor normado para un pan con harina de trigo.

**Palabras clave:** Pan, Harina, Camote, Propiedades elásticas, Propiedades mecánicas

## **ABSTRACT**

The effect of the incorporation of sweet potato flour, with 30% replacement in 1kg of wheat flour was evaluated to determine the behavior of elastic and mechanical properties during the kneading and baking stage of bread. For the evaluation the following varieties were studied: Morado Brazil, Morado Ecuador, Guayaco Morado, Ina and Toquecita, and the evaluated properties were: texture (hardness, elasticity, firmness, chewiness) measured by a texture meter Bloomfield and volume was measured by INEN standard (NTE INEN 0530: 80). The design employed was completely at random, using analysis of variance at 5% significance level. The results obtained showed that elasticity attribute in texture variable presented significant differences ( $P < 0.05$ ). Analysis concluded that including Toquecita flour in the mixture to form the dough, had the highest elasticity of 13.32mm. However, Morado Ecuador variety flour presented a 6.24 mm elasticity value, ideal for both the malleability of the dough and the freshness of the bread, and concerning volume, the inclusion of Ecuador Morado flour and Ina in the formulation of bread, showed an increase in volume at 93.30 and 93.67cm<sup>3</sup> respectively, close to the normed value for wheat flour bread.

**Key words:** Bread, Flour, Sweet potato, Elastic properties, Mechanical properties.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Hoy en día, el mercado del pan es diverso y altamente competitivo, sin embargo, una propiedad se mantiene constante, cuanto más fresco es, más apetecible para el consumidor, la textura es un factor clave en la percepción de la frescura, donde el análisis de las características de la masa puede ser suficiente para predecir la textura del producto final. La formulación de la masa es el principal determinante de los rasgos físicos y del comportamiento reológico de un producto de panadería terminado. El uso del análisis de textura en esta etapa del proceso, puede ayudar a garantizar la textura ideal de la masa y así minimizar el riesgo de defectos en el producto que pueden ocasionar pérdidas de calidad, utilización de materiales innecesarios y estados financieros no atractivos en toda la cadena productiva. Numerosas investigaciones reportan diversas fuentes de materias primas de sustitución en productos horneados, (Ammar et al., 2009); (Delcour y Hosney, 2010); indican que se han sustituido con yam (*Dioscorea spp.*); yuca (*Manihot esculenta Crantz*) en la elaboración de galletas, además de la incorporación de salvado de trigo como fuente de fibra, y de la incorporación de harina de camote en un 20% de sustitución en la elaboración de un cake. En los últimos años se ha incrementado el consumo de alimentos con propiedades funcionales a partir de nuevos ingredientes, (Hiroshi et al., 2000) establecen que el camote (*Ipomea batata*) contiene proteína y fibra elementos importantes para las deficiencias de proteína. (Harmit, 2005) demostró que existen cambios en la proteína

del trigo en diferentes secciones de pan, (corteza, centro, base) donde existe una disminución en mayor proporción en el centro en comparación con la corteza y la base. Sin embargo es necesario conocer cómo las propiedades de estas nuevas fuentes farináceas influyen en las propiedades físicas-mecánicas de productos horneados como el pan. Para elaborar pan se necesita de la materia fundamental que es la harina de trigo (Bastidas y De la Cruz, 2010), la cual presenta propiedades únicas para obtener este producto alimenticio, las que pueden suplirse por otras harinas como el camote (*Ipomoea batata*) sin embargo, debido a la diversidad de variedades que se cultivan en Ecuador, es necesario conocer el comportamiento de cada una de estas en la elaboración de diferentes productos de panadería.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente investigación se realizó en el laboratorio de bromatología, en los talleres agroindustriales de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM MFL), ubicado en el Campus Politécnico, de la ciudad de Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí-Ecuador.

### **2.1. Unidad experimental**

Como unidad experimental se usó un 1kg de harina para la formación de la masa, a la que se le asignaron los diferentes tratamientos (variedades de harinas de camote), en un 30% de sustitución.

### **2.2. Diseño experimental**

Se utilizaron 5 variedades de harinas de camote al 30% de sustitución (Morado Brasil, Morado Ecuador, Guayaco Morado, Ina y Toquecita) debido a que estas son las variedades de mayor producción en la zona de Manabí. Como variables respuestas se evaluaron las propiedades elásticas y mecánicas de la masa mediante el atributo textura y en la elaboración del pan se determinó el volumen. Se empleó un diseño completamente al azar (DCA), (Gutiérrez y De la Vara, 2008), con tres réplicas, para lo cual se empleó un análisis de varianza al 5 % de significación y las diferencias estadísticas se determinaron por la prueba de Tukey.

### **2.3. Métodos de Análisis de laboratorio**

Los atributos de la variable textura en estudio, fueron evaluadas mediante el texturómetro Brookfield, para lo cual se formaron muestras en forma de bloques: L=60mm; A=60 mm; E=40 mm. Con una frecuencia de muestreo de 10 puntos /seg y velocidad del test de 1mm/ seg; mientras que la variable volumen se determinó a través de la relación volumen cm<sup>3</sup>, por el método de la norma INEN (NTE INEN 0530:80) ensayo de panificación.

El ensayo del texturómetro permitió establecer los atributos de Dureza mediante la prueba de dos ciclos, Elasticidad, Firmeza y Masticabilidad.

### **2.3.1. Dureza**

La dureza (gf) es la fuerza máxima que tiene lugar, en cualquier tiempo, durante el primer ciclo de compresión (Bourne, 1978). Definida también como la fuerza, en g fuerza o newton para comprimir una rodaja de pan hasta un 50% del espesor original (Método 74-09, AACC Internacional 2000). Esta prueba se realizó en dos ciclos, trata de simular el comportamiento de masticar el alimento dos veces. Cada ciclo de la prueba semeja un ciclo de cerrar y abrir de la quijada.

### **2.3.2. Elasticidad**

La Elasticidad (mm) es una medida de cuánto recupera su altura o forma original el alimento luego de ser sometido a una deformación. Estrictamente se define como la altura que el alimento recupera durante el lapso transcurrido entre el final de la primera mordida y el comienzo de la segunda (Bourne, 1978). Se calcula como el cociente entre la distancia 2 ( $L_2$ ) y la distancia 1 ( $L_1$ ) que es la relación entre la distancia positiva de bajada del primer ciclo de compresión y la distancia de subida del mismo. Por lo tanto, la elasticidad se define por la siguiente ecuación:

$$Elasticidad = \frac{L_2}{L_1} \quad (1)$$

### **2.3.3. Firmeza**

La firmeza (gf) se refiere a que tan firme está un producto cuando se comprime ligeramente. Es decir a la fuerza que se necesita para obtener una deformación dada.

### **2.3.4. Masticabilidad**

La Masticabilidad (Mj) sensorialmente se define como la fuerza requerida para desintegrar un alimento sólido hasta que esté listo para ser deglutido (Civille y Szczesniak, 1973). Se determina como el producto de:

$$Masticabilidad = Firmeza \cdot Cohesividad \cdot Elasticidad \quad (2)$$

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

De todas las características del pan, una de las más apreciadas por los consumidores es la textura (Angioloni y Collar, 2009).

En el análisis de textura se presentan dos compresiones que representan al ciclo de dureza 1 y ciclo de dureza 2. En la tabla 1 se presentan los valores medios de textura del pan donde las variedades Morado Brasil, Morado Ecuador, Guayaco Morado, Ina y Toquecita presentaron similitud en cuanto a la dureza del pan, valores superiores a un pan con harina de trigo reportado (Alvis y col., 2011) que presenta una dureza de 3,92 N equivalente a 400 gf. Y de acuerdo a Machado (1996) estos valores de dureza deben encontrarse en un rango entre 4 a 11 N para un pan con harina de trigo.

**Tabla 1.** Valores medios de Textura de Pan con 30% de sustitución con harina de Camote

| <i>Variedad</i> |       | <i>C.Dureza 1. (gf)</i> | <i>C.Dureza 2. (gf)</i> | <i>Elasticidad (mm)</i> | <i>Firmeza (gf)</i> | <i>Masticabilidad (Mj)</i> |
|-----------------|-------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| Morado Brasil   | Media | 1928,30                 | 1786,53                 | 3,6453                  | 1336,63             | 48,037                     |
| Morado Ecuador  | Media | 1830,77                 | 1379,37                 | 6,2490                  | 1044,27             | 37,603                     |
| Guayaco Morado  | Media | 1740,83                 | 1533,93                 | 4,6383                  | 1188,37             | 42,683                     |
| Ina             | Media | 2088,40                 | 1924,40                 | 3,6337                  | 1488,00             | 53,473                     |
| Toquecita       | Media | 1857,43                 | 1442,37                 | 13,3217                 | 1121,90             | 110,817                    |
| Total           | Media | 1889,15                 | 1613,32                 | 6,2976                  | 1235,83             | 58,523                     |

De la misma manera las variedades de camote presentaron una igualdad en cuanto a los atributos Firmeza y Masticabilidad, pero se encontró para la elasticidad una diferencia de las medias en las variedades Morado Ecuador y Toquecita.

El análisis de varianza ANOVA, Tabla 2, indicó que no existen diferencias estadísticas significativas para los tratamientos que corresponden a las variedades de camote en las propiedades de la variable textura: Ciclo de Dureza 1, Ciclo de Dureza 2; Firmeza y Masticabilidad ( $p > 0,05$ ), excepto para elasticidad ( $p < 0,05$ ) donde hay tal diferencia, de acuerdo con lo anterior se establece que los panes elaborados con harinas de camote presentan una dureza que va entre 1613,3gf a 1889,1gf medidas mayores que un pan tradicional equivalente a 1121 gf. Del mismo modo, una masa que es demasiado viscosa no mantendrá una estructura final deseable.

**Tabla 2.** Análisis de Varianza

| <i>ANOVA</i> | <i>Gl</i> | <i>C. Dureza1 (gf)</i> | <i>C. Dureza2 (gf)</i> | <i>Elasticidad (mm)</i> | <i>Firmeza (gf)</i> | <i>Masticabilidad (Mj)</i> |
|--------------|-----------|------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------|
|              |           | Sig.                   | Sig.                   | Sig.                    | Sig.                | Sig.                       |
| Total        | 14        |                        |                        |                         |                     |                            |
| Tratamientos | 4         | 0,999                  | 0,977                  | <b>0,012</b>            | 0,982               | 0,508                      |
| Error        | 10        |                        |                        |                         |                     |                            |

Gl. Grados de Libertad

Sig. Significación

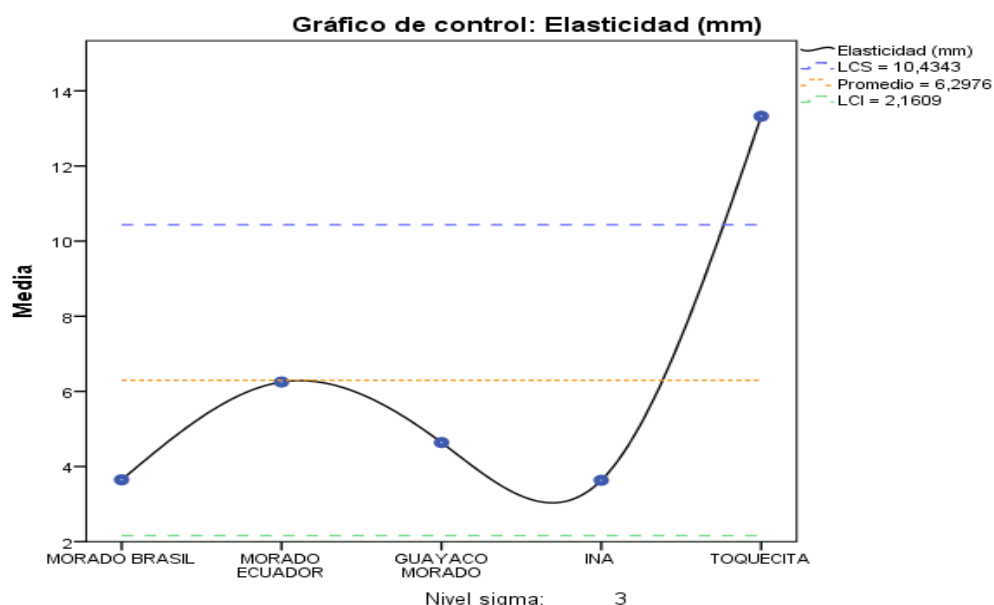
La masticabilidad de la miga del pan oscila entre 37,6 a 110,8 Mj aproximadamente (Tabla 1), entendiéndose que el pan más masticable es aquel que presenta menor valor de masticabilidad, ya que requiere desde el punto de vista sensorial más tiempo de deglución en la boca antes de tragarlo (Hernández y Duran, 2012).

Como se puede apreciar en la Tabla 3, la variedad Morado Ecuador y Toquecita se encuentran dentro del subconjunto 2 que demuestra que estas variedades difieren de las demás en cuanto a la elasticidad, sin embargo, la variedad Toquecita fue la que presentó la mayor elasticidad, dicha propiedad está estrechamente ligada al volumen y a la frescura del pan. Una masa demasiado elástica de 13,3mm es difícil de manipular y así se traducirá en un producto final deforme.

**Tabla 3.** Prueba de Tukey

| <i>Variedad</i> | <i>Subconjunto para alfa = 0,05</i> |          |
|-----------------|-------------------------------------|----------|
|                 | <i>1</i>                            | <i>2</i> |
| INA             | 3,6337                              | -        |
| Morado Brasil   | 3,6453                              | -        |
| Guayaco Morado  | 4,6383                              | -        |
| Morado Ecuador  | 6,2490                              | 6,2      |
| Toquecita       | -                                   | 13,3     |
| Sig.            | 0,864                               | 0,066    |

Las variedades Morado Ecuador, Guayaco Morado, Morado Brasil y Ina como se muestra en la Figura 1 se encuentran por debajo de una elasticidad apropiada para un pan con harina de trigo equivalente a un rango entre 8 a 9,5mm, donde la variedad Morado Ecuador se muestra como la que mejor índice de elasticidad tiene, lo que garantiza un mayor volumen y frescura.



**Figura 1.** Gráfico de control: atributo elasticidad

En la Tabla 4 se demuestra que la inclusión de las variedades de harinas de camote en el volumen del pan presentó diferencia estadística significativa.

**Tabla 4.** Análisis de Varianza Volumen

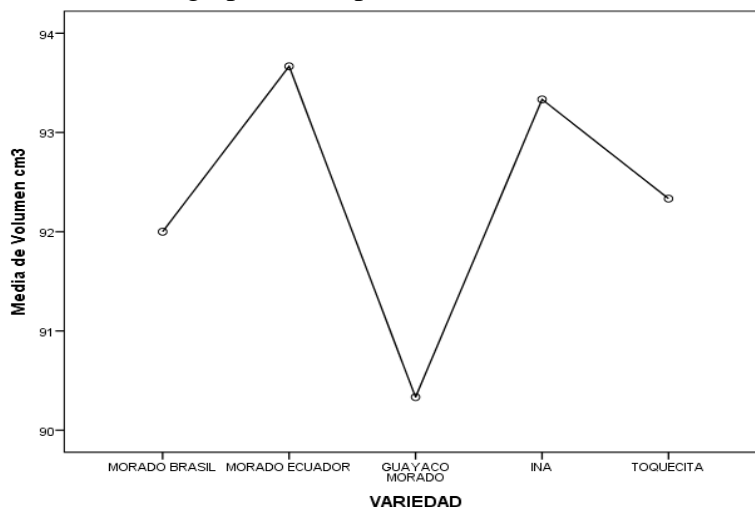
| <i>Origen</i>        | <i>Suma de cuadrados tipo III</i> | <i>Gl</i> | <i>Media cuadrática</i> | <i>F</i> | <i>Sig.</i> |
|----------------------|-----------------------------------|-----------|-------------------------|----------|-------------|
| Variedades de Harina | 35,600                            | 4         | 8,900                   | 5,494    | 0,004       |
| Error                | 32,400                            | 20        | 1,620                   |          |             |
| Total                | 68,000                            | 24        |                         |          |             |

De acuerdo al análisis de varianza se rechaza la hipótesis de igualdad de medias de las variedades de harinas, en el volumen del pan, por lo que se realizó una prueba de significación de Tukey, cuyos resultados se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5.** Prueba de Tukey

| <i>Tratamientos</i> | <i>Subconjunto</i> |          |
|---------------------|--------------------|----------|
|                     | <i>1</i>           | <i>2</i> |
| Guayaco M           | 90,6               | -        |
| Toquecita           | 92,2               | 92,2     |
| Morado B            | 92,6               | 92,6     |
| INA                 | -                  | 93,6     |
| Morado E            | -                  | 94       |
| Sig.                | 0,134              | 0,207    |

La prueba de Tukey muestra que las variedades Guayaco Morado, INA y Morado Ecuador difieren de las demás variedades pues como se aprecia en la Figura 2. Sin embargo INA y Morado Ecuador alcanzaron mayor volumen con respecto a las demás, medidas que están en relación a la norma INEN 530 para un pan con harina de trigo con un promedio de 18g que equivale 100cm<sup>3</sup>. En concordancia por lo reportado por (Alvis y col., 2011) que para pan con harina de trigo fue de 5,8g/cm<sup>3</sup>. Según (Chagman y Zapata, 2010) concluyen que el volumen del pan disminuye a mayor nivel de sustitución de la harina de trigo por otro tipo de harina.



**Figura 2.** Medias de volumen cm<sup>3</sup> de pan

#### 4. CONCLUSIONES

La inclusión de harina de camote de las variedades analizadas en la elaboración de pan permite obtener un producto con propiedades elásticas y mecánicas muy cercanas al elaborado con harina de trigo de modo que:

1. La harina de la variedad Morado Ecuador presentó un valor de 6,2 mm de elasticidad muy cerca del normado para un pan con harina de trigo de 8 a 9,5 mm, ideal tanto para la maleabilidad de la masa, como para la frescura del pan

2. La harina de la variedad Morado Ecuador e INA, presentaron mayor volumen del pan de 94 y 93,6 respectivamente, en relación a las demás variedades y cercanos al valor normado para un pan de harina de trigo que equivale a un valor de 100 cm<sup>3</sup>.

## **REFERENCIAS**

- Alvis, A., Pérez, L., Arrazola, G., Estudio de las propiedades físicas y viscoelásticas de panes elaborados con mezclas de harina de trigo y harina de arroz integral., *Información Tecnológica*, Vol.22, No. 4, 2011, pp. 107-116.
- Ammar., M. S., Hegazy., A.E., y Bedeir., S.H., Using of taro flour as partial substitute of wheat flour in bread making., *World Journal of Dairy and Food Sciences*, Vol. 4, No. 2, 2009, pp. 94-99.
- Angioloni, A., y Collar, C., Bread crumb quality assessment: a plural physical approach., *Europe Food Research and Technology*, Vol. 229, No.1, 2009, pp. 21-30.
- Bastidas, S. y De la Cruz, S., Utilización de Harina de Camote (*Ipomea Batatas*) en la Elaboración de Pan., Tesis de pregrado en opción a título de Ingeniería en Alimentos, Guayaquil, Ecuador, 2010.
- Bourne, M.C., Texture profile analysis., *Food Technol*, Vol. 32, No. 7, 1978, pp.62-66.
- Chagman, G., y Zapata, J., Sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) L por harina de Kiwicha (*amaranthus caudatus*l), usando el método directo y esponja y masa, en la elaboración de pan., *Revista de la Sociedad de Química del Perú*, Vol.76 No. 4, 2010, pp. 377-388.
- Civille, G., y Szczesniak, A., Guidelines to training a texture profile panel., *Journal of Texture Studies*, Vol.4, 1973, pp. 204-223.
- Delcour, J. A, y Hosoney, R. C., Principles of cereal science and technology., AACC International: St. Paul, MN, USA, 2010, pp. 270.
- Gutiérrez, P.H., De la Vara Salazar, R. Análisis y Diseño de Experimentos., 2da edición. McGRAW-HILL, México, 2008, pp. 78-115.
- Harmit, S., Study of changes in wheat protein during bread baking using SE-HPLC., *Food Chemistry*, Vol. 90, 2005, pp. 247-250.
- Hernández, O., y Duran O., Características reológicas del pan de agua producto autóctono de Pamplona (Norte de Santander)., *Revista de la Facultad de Ciencias Basicas*, Vol.10, No.2, 2012, pp. 61-74.
- Hiroshi, I.S., Hirorko, So., Noriko, I., Satoshi, T., Tadahiro., y M. Akio., Nutritive evaluation of chemical components of leaves stalks and stems of sweet potatoes., *Food Chemistry*, Vol. 68, No.3, 2000, pp. 359-367.
- INEN, NTE INEN 0530, Instituto Ecuatoriano de Normalización, Harina de trigo, ensayo de panificación, 1980.
- Machado, L., Pão sem glúten: otimização de algumas variáveis de processamento., Tesis presentada en opción al grado científico de Master en Engenharia de Alimentos, Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 1996.