

# **Influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)**

## **Influence of temperature on the mechanical characteristics of arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)**

José David Cárdenas Nieto<sup>1</sup>

María Isabel Páez Valencia<sup>2</sup>

*Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia*

### **Resumen**

En este artículo se presentan los resultados de la investigación realizada sobre la Influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), para lo cual se evaluó el módulo de deformabilidad ( $E_d$ ), el esfuerzo de fractura ( $\sigma_F$ ) y la deformación Hencky de fractura ( $\gamma_H$ ) de muestras de arracacha en un proceso de cocción en el cual se emplearon tres temperaturas (70, 80 y 90°C) y tres tiempos (15, 60 y 105 minutos). Las muestras fueron sometidas a pruebas de compresión uniaxial. Los resultados obtenidos mostraron que el aumento de la temperatura disminuyó significativamente el módulo de deformabilidad y el esfuerzo de fractura debido a la degradación de la estructura celular de la arracacha por el calor, lo que se traduce en una disminución de su rigidez y dureza. Adicionalmente, el tiempo de cocción también influyó en el esfuerzo de fractura, aunque en menor medida que la temperatura. Por otro lado, se presentó una relación entre la temperatura de cocción y la deformación de fractura de la arracacha. Al aumentar la temperatura, se observa un incremento en la deformación de fractura, lo que indica una mayor flexibilidad de las muestras de arracacha cocinadas.

**Palabras clave:** módulo de deformabilidad, esfuerzo de fractura, deformación Hencky de fractura.

### **Abstract**

This article presents the results of the research carried out on the influence of temperature on the mechanical properties of arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), for

---

<sup>1</sup> Ingeniero de alimentos, <https://orcid.org/0000-0002-6117-0869> / jose.cardenas@unad.edu.co

<sup>2</sup> Ingeniera de alimentos, <https://orcid.org/0000-0001-7134-241X> / maria.i.paez@unad.edu.co

which the deformability modulus ( $E_d$ ), fracture stress ( $\sigma_F$ ) and Hencky fracture strain ( $\gamma_H$ ) of arracacha samples were evaluated in a cooking process in which three temperatures (70, 80 and 90°C) and three times (15, 60 and 105 minutes) were used. The samples were subjected to uniaxial compression tests. The results showed that increasing the temperature significantly decreased the deformability modulus and the fracture stress due to the degradation of the cellular structure of the arracacha by heat, which translates into a decrease in its rigidity and hardness. Additionally, cooking time also influenced the fracture stress although to a lesser extent than temperature. On the other hand, a relationship was presented between the cooking temperature and the fracture strain of the arracacha. As the temperature increases, an increase in fracture deformation is observed, indicating greater flexibility of the cooked arracacha samples.

**Keywords:** Deformability modulus, fracture stress and Hencky fracture strain.

## 1. Introducción

La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) es una planta alimenticia originaria de los Andes. Se produce principalmente en Brasil, Colombia, Venezuela y Ecuador. Entre sus partes comestibles se encuentra la raíz, los talluelos y las hojas. La raíz, la cual tiene un contenido de humedad de 71 a 81 %, carbohidratos entre 22 y 25 %, almidón 21 % (Yossy & Yadi, 2022), es utilizada en Colombia en la industria alimentaria para la producción de harinas, alimentos infantiles, hojuelas, chips, bizcochos, tortas, pan, galletas, y también como alimento fresco, para la elaboración de ensaladas, en purés y sopas (Valenzuela, 2023). Durante la cocción de la arracacha suceden reacciones químicas que afectan su textura, parámetro que está relacionado con las propiedades organolépticas y mecánicas del alimento (Linares, Vergara & Hase, 2005).

Los atributos de textura de alimentos sólidos son un importante factor de aceptación por parte del consumidor. Los fundamentos de las propiedades mecánicas, como el esfuerzo y deformación de fractura, módulo de deformabilidad, han sido medidos analíticamente por diferentes pruebas que permiten comprender la estructura del alimento (Kim *et al.*, 2012). La evaluación textural se basa en el análisis de curvas fuerza-deformación obtenidas a partir de pruebas de compresión uniaxial. En estas pruebas, una muestra de un alimento de geometría y dimensiones conocida se comprime a velocidad constante hasta su fractura, permitiendo caracterizar su comportamiento reológico (Rodríguez-Damián *et al.*, 2023).

El objetivo del estudio fue determinar la influencia de la temperatura y el tiempo de cocción en las propiedades mecánicas (módulo de deformabilidad, esfuerzo de fractura, deformación Hencky de fractura) de muestras de arracacha por medio de una prueba de compresión uniaxial.

## 2. Metodología

## 2.1 Preparación de la muestra

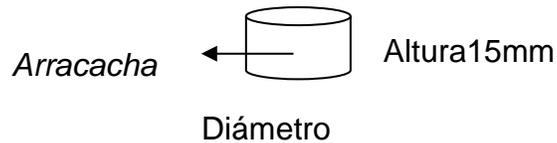


Figura 1. Muestra de arracacha para pruebas de compresión uniaxial.

La arracacha se seleccionó, verificando su textura, tamaño y color. Se retiró la cáscara de la arracacha y se cortó el cilindro con 15 mm de diámetro y 15 mm de altura, como se muestra en la Figura 1.

## 2.2 Prueba de compresión uniaxial

Las muestras de arracacha fueron sometidas a pruebas de compresión uniaxial usando un texturómetro (marca Shimadzu, USA). Las medidas fueron realizadas a temperatura ambiente de 25 °C, se empleó un embolo de 100 mm de largo y 20 mm de diámetro para comprimir la muestra. La velocidad de compresión fue de 15 mm/min, las muestras se fracturaron hasta un 85 % de su altura inicial.

De las curvas de fuerza-deformación obtenidas de la prueba de compresión se calcularon el esfuerzo y la deformación de Hencky, ecuaciones 1 y 2, respectivamente.

$$\sigma(t) = \frac{F(t)}{A(t)} = \frac{F(t)}{\pi r^2 l_0} * [l_0 - l(t)] \quad (1)$$

$$\gamma_H(t) = \text{Ln} \left[ \frac{l_0}{l_0 - l(t)} \right] \quad (2)$$

$\sigma$ : Esfuerzo (Pa)

$\gamma_H$ : Deformación de Hecky (mm/mm)

$F$ : Fuerza de compresión (N)

$A$ : Área de contacto de la muestra (m<sup>2</sup>)

$l_0$ : Altura inicial de la muestra (m)

$l(t)$ : Altura de la muestra en el tiempo t (m)

## 2.3 Diseño experimental

Se realizó un diseño factorial 32, completamente al azar, con dos factores y tres niveles; temperatura; 70, 80 y 90 °C y tiempo de cocción; 15, 60 y 105 minutos. Se analizó una muestra fresca sin tratar como referencia.

Las variables de respuesta fueron: módulo de deformabilidad ( $E_d$ ), el esfuerzo de fractura ( $\sigma_F$ ) y la deformación Hencky de fractura ( $\gamma_H F$ ).

Todas las medidas se realizaron por duplicado. Los resultados fueron procesados en la herramienta de Microsoft Office Excel y analizados en el paquete estadístico Minitab, con un nivel de confianza de 95 %.

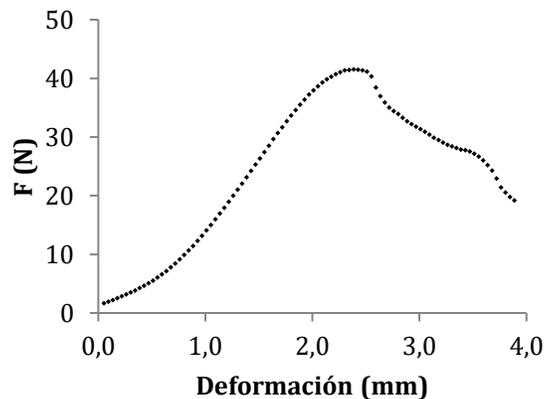
### 3. Discusión y resultados

#### 3.1 Compresión uniaxial

**Tabla 1. Resultados de muestra de arracacha sin tratamiento de cocción**

$E_d$ (kPa)	$\sigma_F$ (kPa)	$\gamma_H$
6946.6	1199.6	0.28

En la Figura 2 se muestra una curva típica de fuerza - deformación, obtenida de las pruebas de compresión uniaxial, para la arracacha sin tratamiento de cocción. En la Tabla 1, se observa los resultados de módulo de deformabilidad, esfuerzo de fractura y deformación de fractura de la muestra de arracacha sin tratamiento de cocción.



*Figura 2. Curva típica fuerza-deformación de arracacha sin tratamiento de cocción.*

#### 3.2 Módulo de deformabilidad

En la Figura 3, se observa los resultados del módulo de deformabilidad de la arracacha con tratamiento de cocción. El módulo se determinó teniendo en cuenta la pendiente de la zona lineal de la curva de esfuerzo-deformación (Staroszczyk & Zdzisław, 2023). Algunos autores relacionan el  $E_d$  con la sensación dureza del alimento durante su ingesta (Kim *et al.*, 2012). Se puede apreciar que a mayor temperatura menor módulo de deformabilidad. Resultados similares se obtuvieron en la yuca (Menoli & Beleia, 2007), donde se observó disminución de la firmeza por el incremento de la temperatura. El análisis de varianza (ANOVA) mostró que existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el factor temperatura. La cocción genera destrucción en la membrana celular del alimento afectando las propiedades mecánicas, ocasionando que los tejidos disminuyan la firmeza en el producto (Katsiferis, Zogzas & Karathanos, 2008), además la turgencia inicial de las células decrece con el aumento de la temperatura del proceso (Menoli & Beleia, 2007). Por su parte, el factor tiempo de cocción no presentó diferencia significativa. El resultado obtenido del módulo de deformabilidad del tratamiento 70 °C-15 minutos fue 7 veces menor en comparación con la muestra control.

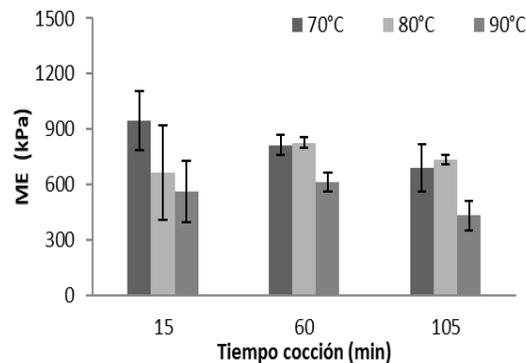


Figura 3. Módulo de deformabilidad de arracacha con tratamientos de cocción.

### 3.3 Esfuerzo de fractura

El  $\sigma_F$  es definido como el último esfuerzo de la fractura del material (Serna Cock, Torres Valenzuela & Ayala Aponte, 2012), siendo el valor del pico de la curva de esfuerzo-deformación. Existe una relación entre el esfuerzo de fractura y la sensación de dureza y crujencia en la mordida del alimento (Foegeding *et al.*, 2011). En la Figura 4 se observa el esfuerzo de fractura de la arracacha con tratamiento de cocción. El ANOVA mostró que existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el factor temperatura y tiempo de cocción. Los resultados obtenidos muestran que el mayor esfuerzo de fractura es el del tratamiento 70 °C-15 minutos, el cual fue 1.3 veces menor que la muestra control. El aumento de la temperatura y el tiempo de cocción disminuye el  $E_d$ , resultados similares se obtuvieron en naranjas tratadas

osmóticamente a diferentes temperaturas y tiempos de proceso (Katsiferis, Zogzas & Karathanos, 2008). Estudios realizados en yuca muestran que las propiedades mecánicas cambian significativamente con el tiempo de cocción (Linares, Vergara & Hase, 2005).

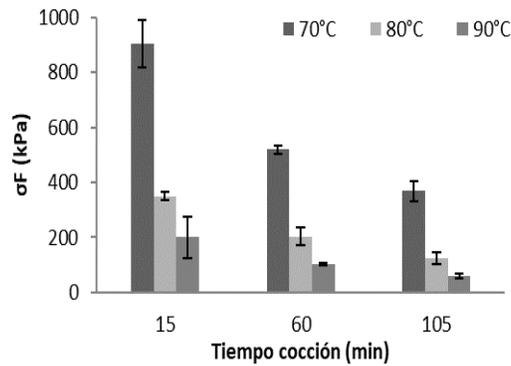


Figura 4. Esfuerzo de fractura de arracacha con y sin tratamientos de cocción.

### 3.4 Deformación de fractura

En la Figura 5 se observa la deformación Hencky de fractura de las muestras de arracacha con y sin tratamiento. La  $\gamma_H$  es el nivel de deformación de la muestra correspondiente al esfuerzo de fractura, donde el alimento sufre una fractura macroscópica en su estructura (Serna Cock, Torres Valenzuela & Ayala Aponte, 2012). La muestra sin tratar tiene un valor menor a las tratadas, probablemente debido a variaciones de la muestra, resultado contrario se encontró en la cocción de yuca, donde el tiempo de cocción afectó la deformación del alimento en comparación con la muestra inicial, tiempo 0 (Linares, Vergara & Hase, 2005). La temperatura influyó en la deformación de las muestras, en donde a mayor temperatura mayor deformación, resultados similares se obtuvo en masa de yuca cocinada (Rodríguez-Sandoval *et al.*, 2008). De acuerdo a Linares, Vergara & Hase (2005) los cambios en la deformación indican cambios en el tejido del alimento, tendiendo ser más flexibles después de 3 minutos de cocción. Finalmente, el ANOVA indicó que existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el factor temperatura y tiempo de cocción.

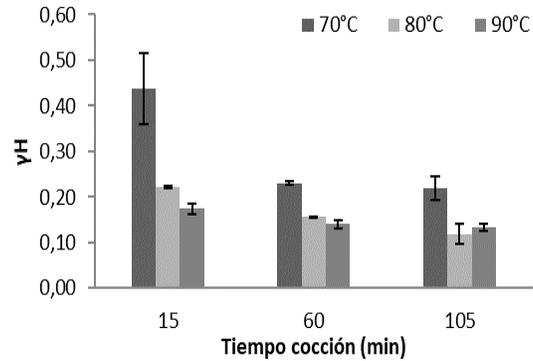


Figura 5. Deformación de fractura de arracacha con y sin tratamientos de cocción.

#### 4. Conclusiones

Las temperaturas de cocción de la arracacha afectan el módulo elástico, el esfuerzo de fractura y la deformación Hencky de fractura de la arracacha. Los cambios en las propiedades mecánicas son atribuidos a la disminución de la fuerza en los tejidos del alimento por la temperatura y tiempo de cocción.

La muestra tratada a 70 °C y 15 minutos de cocción presentó los menores cambios en las propiedades evaluadas respecto a la muestra sin tratar, mostrando menor daño en la estructura.

#### Referencias

- Foegeding, E. A., Daubert, C. R., Drake, M. A., Essick, G., Trulsson, M., Vinyard, C. J. & Van de Velde, F. (2011). A Comprehensive Approach to Understanding Textural Properties of Semi- and Soft-Solid Foods. *Journal of Texture Studies*, 42(2), 103–129. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2011.00286.x>
- Katsiferis, T., Zogzas, N. & Karathanos, V. T. (2008). Mechanical properties and structure of unripe oranges during processing of “spoon sweets”. *Journal of Food Engineering*, 89(2), 149–155. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.04.014>.
- Kim, E. H. J. *et al.* (2012). Fundamental fracture properties associated with sensory hardness of brittle solid foods. *Journal of Texture Studies*, 43(1), 49–62. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2011.00316.x>
- Linares, A. R., Vergara, M. L. & Hase, S. L. (2005). Efecto de la cocción sobre los parámetros texturales de dos variedades de mandioca. *Información Tecnológica*, 16(5), 3–9. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642005000500002>.
- Menoli, A. V. & Beileia, A. (2007). Starch and pectin solubilization and texture modification during pre-cooking and cooking of cassava root (*Manihot esculenta* Crantz). *LWT - Food Science and Technology*, 40(4), 744–747. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.12.011>.

- Rodríguez-Damián, A. R. *et al.* (2023). Análisis de compresión uniaxial para diferentes formulaciones lácteas sólidas. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 331–338. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.45>
- Rodríguez-Sandoval, E. Fernández-Quintero, A., Sandoval-Aldana, A. & Cuvelier, G. (2008). Effect of processing conditions on the texture of reconstituted cassava dough. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25, 713–722.
- Serna Cock, L., Torres Valenzuela, L. S. & Ayala Aponte, A. (2012). Cambios en las propiedades mecánicas de pitahaya amarilla mínimamente procesada tratada con 1-Mcp. *Dyna*, 79(174), 71–78.
- Staroszczyk, H. & Zdzisław, S. (2023). *Chemical and Functional Properties of Food Components*. 4<sup>th</sup> Edition. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9781003265955>
- Valenzuela, C. (2023). *Alternativas de generación de valor para tubérculos y raíces comerciales*. Editorial Universidad del Tolima.
- Yossy, M. & Yadi, T. (2022). *Caracterización de tres ecotipos de arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft) con fines agroindustriales en condiciones agroclimáticas de la comunidad de Mayobamba -Chinchao 2019*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Hermilio Valdizan.