

Efecto de la velocidad de penetración, penetrómetro y ubicación de la muestra sobre la fuerza de fractura de bocadillo de guayaba¹

Effect of analysis conditions on fracture force of guava dessert (bocadillo de guayaba)

Laura Sofía Torres-Valenzuela* Jaime Alberto Benavides Guerrero**

*Ingeniera Agrícola, M.Sc. en Ingeniería de alimentos. docente Universidad La Gran Colombia, Seccional Armenia

** Doctor en Ingeniería Eléctrica, grupo de investigación NOMAD, Ecole de Technologie Supérieure.

Resumen

La textura es un parámetro de calidad importante en procesos alimentarios. Desde el campo del diseño, control de operaciones; el análisis instrumental de esta propiedad representa ventajas asociadas a la reproducibilidad de la información. Se determinaron las condiciones óptimas para evaluar la fuerza máxima requerida para penetrar cubos de bocadillo de guayaba (marca comercial). Se evaluaron velocidades de penetración de 50 y 450 mm/min, penetrómetros de punta plana y punta aguda y ubicación de las muestras paralelas y perpendicular. El punzón de punta aguda ocasionó mayor variabilidad (desviación estándar) en los resultados obtenidos. La ubicación de la muestra perpendicular y velocidades altas de penetración requieren mayor fuerza (N) para penetrar las muestras de bocadillo a una profundidad de 10 mm. La fuerza requerida para penetrar el bocadillo de guayaba osciló entre 1 y 2,7 N.

Palabras clave: Calidad, control, masticación, *Psidium guajava*, textura.

Abstract

Texture is an important quality standard in food stuffs processes, from design field, and operating control; instrumental analysis of this property represents advantages associated to information reproduction. Optimal conditions were determined to evaluate the maximum force required to penetrate guava dessert cubes (cubos de bocadillo de guayaba, trade name). 50 and 450 mm/min penetration velocity was evaluated, flat and acute end penetrometers, and location of parallel samples and perpendicular. Acute end punch caused major variability (standard deviation) on results obtained. Location of perpendicular sample and penetration high velocity require more force (N) to penetrate guava dessert cubes at 10 mm depth. Required force to penetrate the guava dessert fluctuated between 1 and 2,7 N.

Keywords: texture, chewing, quality, control, *psidium guava*

1. Artículo derivado del proyecto de investigación denominado: análisis reológico de productos para consumir.

Recibido: 19/04/2014

Revisado: 05/05/2014

Aceptado: 09/06/2014

Correspondencia de autor:

jlaurasofiatv@gmail.com
jaime-alberto.benavides-guerrero.1@etsmtl.net

© 2014 Universidad La Gran Colombia. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia *Creative Commons Attribution License*, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que el autor original y la fuente se acrediten.

Cómo citar:

Torres-Valenzuela L y Benavides J. (2014). Efecto de las condiciones de análisis sobre la fuerza de fractura de bocadillo de guayaba. *UGCiencia* 20. 8-14

Introducción

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es una fruta tropical de gran aceptación se consume fresca y procesada. Esta especie originaria de las zonas tropical y sub tropical, está ampliamente distribuida en América (Marquina, Araujo, Ruiz y Rodríguez, 2008). En Colombia se encuentra en todo el territorio nacional, con un amplio número de variedades distribuidas en todos los climas. La guayaba es una fruta muy apreciada comercialmente en todo el mundo por sus múltiples usos. Colombia es uno de los mayores productores de guayaba del mundo, sin embargo su producción no es exportada debido a la enorme demanda interna de esta fruta (Glevez, 1998). Entre los compuestos químicos de la planta se reportan: vitamina C, aceite esencial, carbohidratos, taninos, flavonoides, esteroides y alcaloides (Martínez, Molina y Boucourt, 1997) por esta razón su consumo es muy amplio.

El bocadillo es una pasta sólida obtenida por cocción de una mezcla de pulpa de guayaba y azúcares. La estabilidad de este producto se debe fundamentalmente a las características de la fruta, al proceso térmico y de deshidratación al cual se somete durante su preparación (Corpoica, 2000). Los productos alimenticios muestran un amplio rango de comportamientos mecánicos. Este comportamiento puede ser descrito a partir de modelos simplificados basados en sólidos ideales (elásticos), líquidos ideales (viscosos) y plásticos ideales que presentan comportamiento elástico y viscoso en función del límite de fluencia (Del Nobile, Chillo, Mentana y Baiano, 2007).

El conocimiento de las propiedades viscoelásticas de los alimentos es importante para definir sistemas de cosecha, manipulación, transporte, procesamiento y almacenamiento. Entre las propiedades elásticas la firmeza representa una propiedad importante que indica la calidad de los productos (Hassan, Alhamdan y Elansari, 2005), siendo la firmeza un factor clave en la aceptación de los consumidores en alimentos frescos y procesados (Ross y Scanlon, 2004).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es determinar las condiciones óptimas para medir la firmeza, evaluando la velocidad de penetración, tipo de penetrómetro utilizado y ubicación de la muestra.

Materiales y métodos

Bocadillo: Se utilizó bocadillo marca Ricafruta comprado en mercado local. Las muestras se acondicionaron en cubos de dimensiones 25 x 25 x 15 ± 0.1 milímetros, se midieron con

un pie de rey, las muestras que superaron estas dimensiones fueron descartadas.

Propiedades mecánicas

Para la evaluación de la firmeza del bocadillo, se midió la fuerza máxima (N) necesaria para penetrar los bloques a una profundidad de 10,0 mm. Para ello se emplearon dos penetrómetros cilíndricos, uno de punta plana de 2.0 mm de diámetro y otro de punta aguda, adaptado a un texturómetro EZ-Test (Shimadzu, USA). La velocidad de penetración fue de 50 y 450 ± 1mm/min en dirección uniaxial. Las muestras se midieron paralela y perpendicular al corte. La nomenclatura usada para denominar los tratamientos es: PA: Penetrómetro agudo, PP: Penetrómetro plano, P: Ubicación de la muestra de manera paralela, Pe: Ubicación de la muestra de manera perpendicular.

Diseño experimental y análisis estadístico

Las pruebas se hicieron por duplicado, se realizó un diseño factorial aleatorio. Se realizó análisis de varianza para identificar la significancia de los factores estudiados, utilizando el *software* Microsoft Excel versión 2007. Los resultados se ajustaron a un modelo de regresión múltiple (Ec 1) con 8 regresores usando el programa Matlab versión 6.5. Los factores experimentales fueron velocidad de penetración, X₁ (50, 450 mm/min), tipo de penetrómetro, X₂ (punta plana, punta aguda) y ubicación de la muestra, X₃ (paralela al corte, perpendicular al corte).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_3 + \beta_4 * X_1X_2 + \beta_5 * X_1X_3 + \beta_6 * X_2X_3 + \beta_7 * X_1^2$$

La variable de respuesta fue la fuerza máxima (N) requerida para penetrar el cubo de bocadillo.

Para ajustar los 8 regresores del modelo se corrieron 4 pruebas adicionales a una velocidad de penetración de 250 ± 1mm/min y los dos niveles de los factores X₂ y X₃.

El ajuste de los resultados se realizó mediante el estadístico R-cuadrado (Ec.2) que correlaciona los resultados obtenidos del modelo y los experimentales (Montgomery, 2002).

Donde SS_{modelo} es la suma de cuadrados del modelo y SS_{total} es la suma de cuadrados total.

$$R^2 = \frac{SS_{modelo}}{SS_{total}}$$

Resultados

Análisis de textura

El bocadillo de guayaba tiene un contenido de humedad promedio de 25%, por lo tanto tiene un comportamiento viscoelástico con predominio del comportamiento sólido. La figura 1 presenta las curvas fuerza – distancia para los diferentes tratamientos a una velocidad de penetración de 50 mm/min y 450 mm/min.

La velocidad de penetración y el tipo de penetrómetro influyen a un nivel de significancia del 99% sobre la fuerza máxima requerida para penetrar los trozos de bocadillo ($p > \text{crítico}$). La dirección de ubicación de la muestra influye a un nivel de significancia del 90%. Estos resultados se obtienen del análisis de varianza utilizando el método de Yates.

En la figura 2 se observa que la ubicación perpendicular de la muestra requiere mayor fuerza para penetrar los trozos de

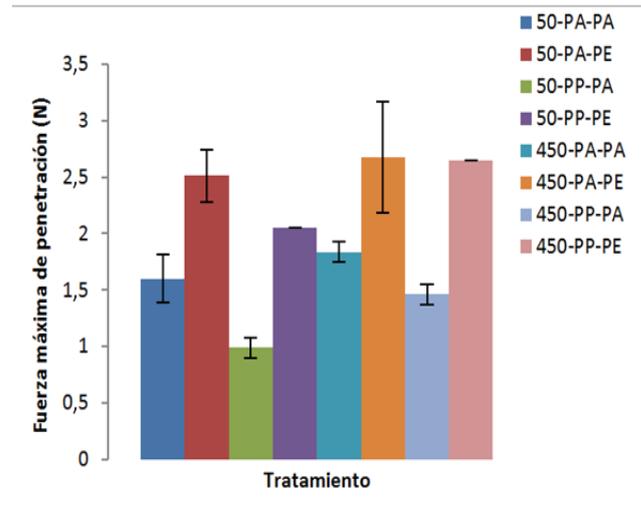
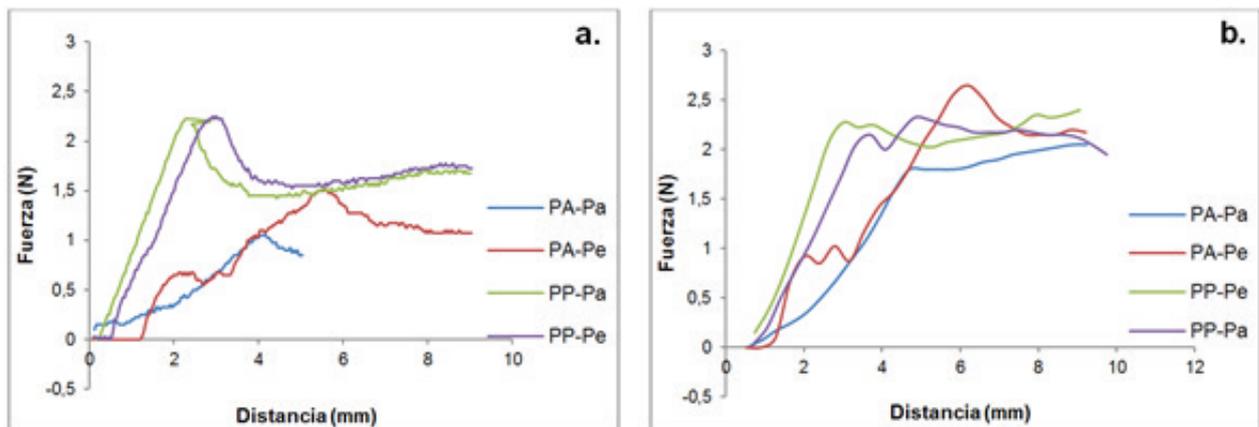


Figura 1. Gráfica fuerza-distancia en el proceso de compresión de bocadillo de guayaba a velocidad de 50 mm/min (a) y 450 mm/min (b)



bocadillo y el penetrómetro de punta plana genera menor variación en los resultados comparado con el penetrómetro de punta aguda, esto es ocasionado por la ruptura de espacios porosos que genera fuerzas adicionales.

Figura 2. Fuerza máxima de penetración en bocadillo en función de las condiciones de análisis.

Análisis de regresión

Usando el programa Matlab versión 6.5 se obtuvo una regresión multivariable, en el que se considera el efecto de las variables, las interacciones y del factor X_1 cuadrático. (Ec 3)

$$Y = 1.8625 + 0.5 * X_1 - 0.1850 * X_2 + 0.08 * X_3 + 0.0625 * X_1X_2 + 0.0063 * X_1X_3 + 0.070 * X_2X_3 + 0.1094 * X_1^2$$

Se observa que el mayor efecto lo presenta la velocidad de penetración (X_1) lineal y cuadrático teniendo en cuenta el valor de los regresores, generando un aumento en la fuerza máxima de fractura. Las interacciones presentan un menor efecto teniendo en cuenta que sus exponentes son pequeños y se podría ajustar un modelo más sencillo en el que se omitan estos términos.

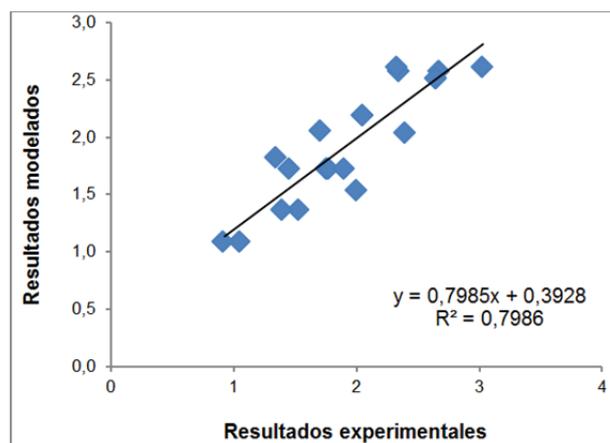
Para validar la efectividad del modelo se halló la correlación aplicando un análisis de varianza (tabla 1)

Tabla 1. Análisis de varianza

Fuente	SS	DF	MS	F	P
Modelo	5,0119	7	0,716	6,8	0,0021
Residuo	1,2643	12	0,1054		
Total	6,2763	19			

La correlación obtenida en el modelo se calculó como la razón entre la suma de cuadrados (SS) del modelo y el total. Este valor se comprobó en la figura 3 en la que se relacionan los valores reales y modelados. El estadístico R-cuadrado (correlación) es de 0.798, indica que el modelo explica un 79.8% de la variabilidad de la fuerza máxima de fractura por efecto de los factores y niveles estudiados. Dado que el p-valor en la tabla 1 es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.

Figura 3. Determinación de la correlación del modelo para obtención de la fuerza máxima de ruptura en función de las condiciones de medición.



Efecto de la velocidad de penetración, tipo de penetrómetro y ubicación de la muestra sobre la fuerza máxima de fractura.

Utilizando los resultados del modelo de regresión multivariable cuadrático se evaluó el efecto de la velocidad de penetración, tipo de penetrómetro y ubicación de la muestra sobre la fuerza máxima requerida para penetrar (fracturar) los cubos de bocadillo. Se realizó una superficie de respuesta en la que se fijó el valor de la variable X_3 en sus niveles bajo (paralelo) y alto (perpendicular) y se evaluó el efecto de los factores X_1 y X_2 sobre la velocidad máxima de penetración.

Las figuras 4 y 5 presentan las superficies de respuesta. Se observa que el comportamiento es lineal, similar a lo obtenido con la regresión.

Figura 4. Superficie de respuesta del efecto de la velocidad de penetración, tipo de penetrómetro y ubicación de la muestra sobre la fuerza de fractura para ubicación paralela de la muestra

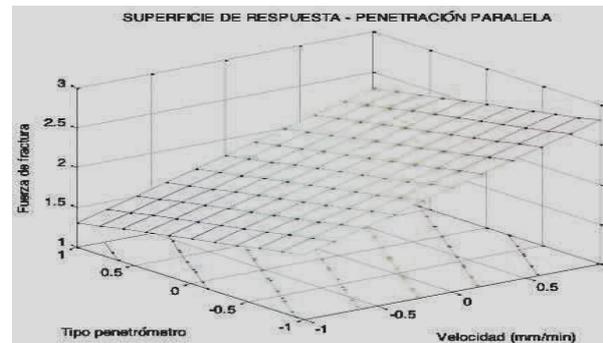
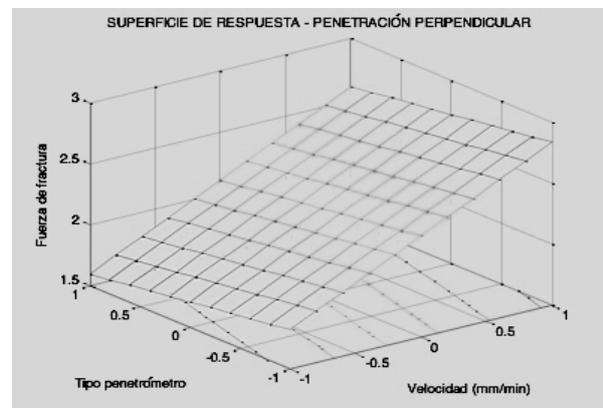


Figura 5. Superficie de respuesta del efecto de la velocidad de penetración, tipo de penetrómetro y ubicación de la muestra sobre la fuerza de fractura para ubicación perpendicular de la muestra



El incremento de la velocidad de penetración aumenta la fuerza requerida para fracturar los cubos de bocadillo. El aumento en la variable tipo de penetrómetro (punta plana a punta aguda) ocasiona menores fuerzas requeridas para penetrar el cilindro, sin embargo en la figura 2 se observa que con un penetrómetro de punta aguda se presenta más variabilidad de los datos, por lo tanto no se recomienda este punzón.

La mayor fuerza de fractura es obtenida a altas velocidades de penetración y un penetrómetro de punta plana, con una ubicación perpendicular de la muestra.

Discusión de los resultados

La velocidad de mordida de los seres humanos depende del tipo de alimentos que se consuma y la edad del consumidor. La velocidad promedio de masticación de un alimento depende del ángulo del diente (Ang, Lucas y Tan, 2005). La velocidad promedio de mordida es 120 mm/min (Hutchings *et al*, 2009). El esfuerzo durante la masticación varía entre 1.31–1.45 kPa en nueces, 0.80 kPa en margarina y 0.31 kPa en mayonesa (Sun y Gunasekaran, 2009).

Teniendo en cuenta los resultados reportados y los resultados obtenidos, se recomienda utilizar una velocidad de penetración de 120 mm/min, punzón de punta plana y ubicación perpendicular de la muestra para establecer la mayor fuerza de penetración del bocadillo de guayaba.

Estableciendo estas condiciones, se puede realizar un estudio reológico del bocadillo y establecer con el comportamiento mecánico un criterio de calidad durante la producción y almacenamiento del producto en busca de generar las condiciones ideales para la adecuada masticación de este producto por parte de los consumidores.

Conclusión

Las determinaciones de fuerza máxima de compresión deben realizarse a velocidades de penetración bajas, penetrómetro de punta plana y ubicación perpendicular de la muestra para obtener la mayor fuerza mecánica que osciló entre 2,05 y 2,7 N. Estas condiciones de análisis permitirían asegurar que el producto pueda ser fracturado por consumidores de un amplio rango de edades.

Referencias bibliográficas

- Ang, K.Y., Lucas, P.W., Tan, H.T.W. (2006). Incisal orientation and biting efficiency. *Journal of Human Evolution* (50):663-672.
- Corpoica. (2000). La agroindustria de la guayaba. Subdirección de sistemas de producción. Programa nacional de maquinaria y poscosecha.
- Del Nobile, M.A., Chillo, S., Mentana, A., Baiano, A. (2007). Use of the generalized Maxwell model for describing the stress relaxation behavior of solid-like foods. *Journal of Food Engineering* 78: 978–983.
- Glevez, C.J. (1998). Manejo Post-Cosecha y comercialización de guayaba (*Psidium guajava* L).
- Hassan, B.H., Alhamdan, A.M., Elansari, A.M. (2005). Stress relaxation of dates at khalal and rutab stages of maturity. En: *Journal of Food Engineering* 66: 439–445.
- Hutchings. S.C., Bronlund, J.E., Lentle, R.G., Foster, K.D., Jones, J.R., Morgenstern, M.P. (2009). Variation of bite size with different types of food bars and implications for serving methods in mastication studies. *Food Quality and Preference* 20: 456–460.
- Marquina, V., Araujo, L., Ruíz, J., Rodríguez-Malaver A. (2008). Composición química y capacidad antioxidante en fruta, pulpa y mermelada de guayaba (*Psidium guajava* L.). *ALAN*, 58 (1): 98-102.
- Martinez, M.J., Molina, N., Boucourt, E. (1997). Evaluación de la actividad antimicrobiana del *Psidium guajava* L. (guayaba)". *Revista cubana Plant Med* 1997 (2): 12 – 14.
- Montgomery, D. (2002). *Diseño y análisis de experimentos*. Editorial Limusa. México.
- Ross, K., Scanlon, M. (2004). "A fracture mechanics analysis of the texture of fried potato crust". *Journal of Food Engineering* 62: 417–423.
- Sun, A., Gunasekaran, S. (2009). Measuring rheological characteristics and spreadability of soft foods using a modified squeeze-flow apparatus. *Journal of Texture Studies* (40): 275 – 287.

Anexos

Tabla 2 – Diseño experimental

Factores	Niveles	Variable de respuesta
Velocidad de penetración (mm/min)	50	Fuerza máxima de penetración (N)
	450	
Tipo de penetrómetro	Punta aguda	
	Punta plana	
Ubicación de la muestra	Paralela (al corte)	
	Perpendicular (al corte)	

Tabla 3. Codificación de variables y resultados experimentales

Variables de control			Codificación			Variable de respuesta
Velocidad	Punzón	Dirección	X ₁ -	X ₂ -	X ₃	Fuerza penetración
X ₁	X ₂	X ₃				
50	Plano	Paralela	-1	-1	-1	1,45
50	Plano	Paralela	-1	-1	-1	1,75
450	Plano	Paralela	1	-1	-1	2,35
450	Plano	Paralela	1	-1	-1	2,675
50	Agudo	Paralela	-1	1	-1	1,05
50	Agudo	Paralela	-1	1	-1	0,925
450	Agudo	Paralela	1	1	-1	2,05
450	Agudo	Paralela	1	1	-1	2,05
50	Plano	Perpendicular	-1	-1	1	1,775
50	Plano	Perpendicular	-1	-1	1	1,9
450	Plano	Perpendicular	1	-1	1	2,325
450	Plano	Perpendicular	1	-1	1	3,025
50	Agudo	Perpendicular	-1	1	1	1,525
50	Agudo	Perpendicular	-1	1	1	1,4
450	Agudo	Perpendicular	1	1	1	2,65
450	Agudo	Perpendicular	1	1	1	2,65
250	Agudo	Perpendicular	0	1	1	1,35
250	Agudo	Paralelo	0	1	-1	2
250	Plano	Perpendicular	0	-1	1	1,7
250	Plano	Paralelo	0	-1	-1	2,4

Tabla 4. Análisis de varianza – Método de Yates

Fuente de variación	Replica 1	Replica 2	T _j	1	2	3	SS	DF	MS	F
1	1,45	1,75	3,2	8,225	13,875	31,5	41,344	1	41,344	2386,86
a	2,35	2,675	5,025	5,65	17,625	7,1	2,1	1	2,1004	121,261
b	1,05	0,925	1,975	9,4	3,525	-3,75	0,586	1	0,586	33,827
c	1,775	1,9	3,675	8,225	3,575	1,05	0,046	1	0,046	2,652
ab	2,05	2,05	4,1	1,825	-2,575	3,75	0,586	1	0,586	33,827
ac	2,65	2,65	5,3	1,7	-1,175	0,05	0,0001	1	0,0001	0,006
bc	1,525	1,4	2,925	1,2	-0,125	1,4	0,082	1	0,082	4,715
abc	2,65	2,65	5,3	2,375	1,175	1,3	0,07	1	0,07	4,065
Error							0,121	7	0,017	