

AVANCES EN LA EVALUACIÓN DE LA DUREZA EN GRANOS DE MAÍZ UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ULTRASONIDO

Guillermo A. López H.¹, Juan de Dios F.², Arturo Mendoza G.²
Marcela Gaytán M.², Juan J. Vélez M.²

¹ Estudiante de Doctorado, Cinvestav-Unidad Querétaro.
E-mail: galopez@gro.cinvestav.mx

² Cinvestav-Unidad Querétaro. IPN. Libramiento Norponiente Núm. 2000
Fraccionamiento Real de Juriquilla 76230 Querétaro. Qro.
Tel/Fax: 01 (442) 441-4900

RESUMEN: En la actualidad se requiere un tipo de grano de maíz para cada diferente proceso industrial por lo que esta tipificación puede ser establecida en base a la dureza. En este estudio se evaluó la dureza de diferentes tipos de granos de maíz empleando la técnica de ultrasonido por contacto con el método de onda continua a frecuencias de 56 kHz, utilizando como parámetro de medida la velocidad ultrasónica que presenta el grano debido a su microestructura interna. Los resultados muestran correlaciones entre su índice de flotación y del Texturometro Universal TA-XT con la velocidad ultrasónica ($R^2=0.79$). La velocidad ultrasónica se incrementa con su grado de dureza

1. INTRODUCCIÓN

La determinación de dureza en los granos de maíz es un importante parámetro para predecir la calidad industrial del maíz [1]. Maíz apropiado para la industria de la tortilla requiere grano suave, mientras que maíz para elaborar botanas requiere grano duro. Un grano suave requerirá un menor tiempo de cocimiento en contraste con un grano duro para obtener nixtamal en condiciones óptimas para elaborar tortillas [1]. Se han realizados trabajos con ultrasonido para determinar las propiedades texturales como dureza (H) y trabajo de compresión [2] donde la dureza, puede ser monitoreada por medio de su cambios en velocidad acústica la cual es proporcional a su dureza.; módulos de Young en zanahorias cocidas [3]; densidad y porosidad en galletas [4]; firmeza en aguacate [5]; deformabilidad de módulos en quesos de Mahon y Cheddar [6] y propiedades texturales en quesos cúbicos mostrando la posibilidad de ser monitoreado su estructura [7]. Es indudable que esta técnica se puede utilizar para determinar la dureza del grano de maíz, determinando sus propiedades acústicas. En este estudio se evaluó la dureza de diferentes tipos de granos de maíz utilizando la técnica de ultrasonido, por el método de onda continua a una frecuencia de 56 kHz. En este método se emplean dos sensores uno que emite la onda y otro que recibe (pitcher- catcher). El método se fundamenta en las variaciones que se producen en la

transmisión de la energía ultrasónica como consecuencia de cambios microestructurales [8], utilizamos como parámetro de medida la velocidad acústica que presenta el grano debido a su microestructura interna.

1.1 Velocidad acústica

La velocidad acústica (v), es la rapidez de propagación de la energía de un pulso propagándose en el material el cual esta afectado por sus constantes elásticas (E) y por su densidad del material (ρ) que a su vez está afectada por su composición química [9].

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1.1)$$

Aplicando la ecuación (1.1) en granos de maíz, consideramos lo siguiente:

1.- La estructura interna del grano de maíz (empaquetamiento) es diferente para distintas variedades y recordando que el grado de acomodamiento estructural nos provee el modulo elástico que es una medida de la rigidez de un material, por lo que a mayor modulo elástico es mayor su dureza por tanto podemos proponer

acertadamente la Hipótesis de que el módulo elástico es proporcional a la dureza (H).

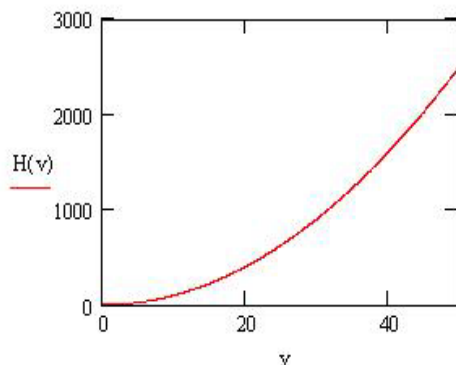
2.- Consideramos que también existe variación en la densidad, contribuyendo en la dureza, por la cantidad de humedad (H_2O) en relación a su proporción de agregado (endospermo). Tenemos entonces como una primera aproximación.

$$v = H^{1/2}$$

ó

$$H = cte1 * v^2 + cte2 * v$$

Gráficamente el comportamiento que nos predice este modelo teórico:



Generalizando nuestro modelo teórico será:

$$H(v) = c1 * v^2 + c2 * v + c3 \quad (1.2)$$

Este es el comportamiento que nos predice nuestro modelo teórico para determinar dureza en función de la velocidad acústica

Ambos factores módulo elástico y densidad afectan la propagación de la onda, la velocidad acústica se mide en términos de la razón de distancia por unidad de tiempo.

$$v = \frac{d}{t} \quad (1.3)$$

Donde:

v = Velocidad acústica en mm. / μ s
d = Distancia recorrida por el pulso.
t = Tiempo recorrido en μ s.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Dureza del grano

Se seleccionaron al azar 10 granos de cada una de las razas, la parte más dura del grano se sometió a una fuerza de penetración, a través de un punzón con un ángulo de 30° , el cual estaba conectado a un Analizador de Textura Universal TA-XT2. La prueba se realizó a una velocidad de 0.5 mm/s y una distancia de penetración de 2.00 mm. y por duplicado.

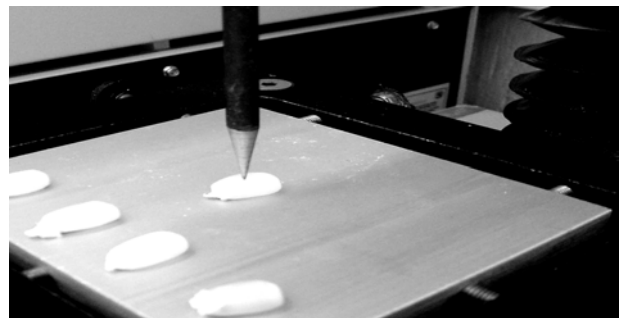


Fig. 2 Texturómetro Universal

2.2 Velocidad acústica en el grano

Se realizaron mediciones de velocidades acústicas para 5 diferentes variedades de maíz con transductores de ultrasonido de baja frecuencia de 56 KHz., determinada por el grado de atenuación del grano de maíz y disponibilidad de los transductores A través de un equipo de Ultrasonic Pulse Velocity Tester La prueba se realizó por triplicado en un tiempo de 2 min., por muestra. La altura de la celda contenedora del grano de maíz es de 9.4 mm. Considerada como el espesor de columna.

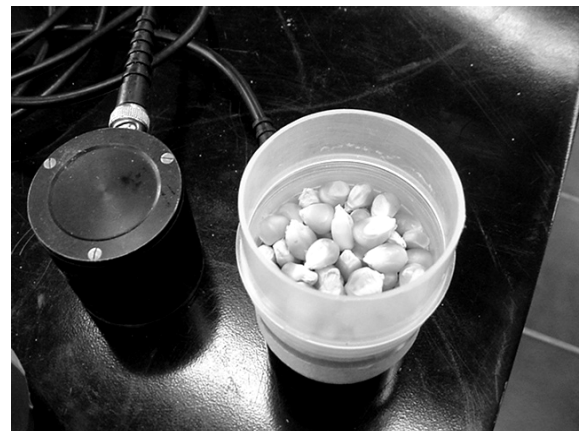


Fig. 3 Celda con maíz y transductores.

2.3 Determinación del índice de Flotación

En una solución de Nitrato de Sodio (300 ml) ajustada a 1.250 g/ml (± 0.001) de densidad previamente preparada, se vierten 100 granos limpios (libre de impurezas), separando los granos uno de otro por medio de un agitador de vidrio, se agita y se espera un minuto para tomar la lectura. El número de granos que ascendieron a la superficie se usa como el índice de flotación [10].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla I se muestra la relación que guarda la medición de la Velocidad acústica vs Dureza del grano. Así como el Índice de Flotación

Tabla I. Resultados experimentales

ID	Dureza. (kg-f)	Índice Flotación (IF)	Tiempo. (us)	Vel. Acústica (mm/us)
11	17.50	0	20.2	0.465
5	17.13	10	21.2	0.443
sn033	14.74	40	21.8	0.431
2	13.67	45	22	0.427
sn08	13.49	51	24	0.392

La velocidad acústica ultrasónica producida por el cambio de dureza en el grano de maíz aumenta proporcionalmente con el incremento de sus constantes elásticas y densidad, la cual se corroboró determinándose su índice de flotación. Se grafico la dureza vs velocidad acústica (Fig.4), y se grafico con el modelo teórico

$H(v) = 646.23V^2 - 491.16V + 106.55$, que predice su comportamiento encontrando una buena correlación entre lo que predice el modelo teórico y el experimental.

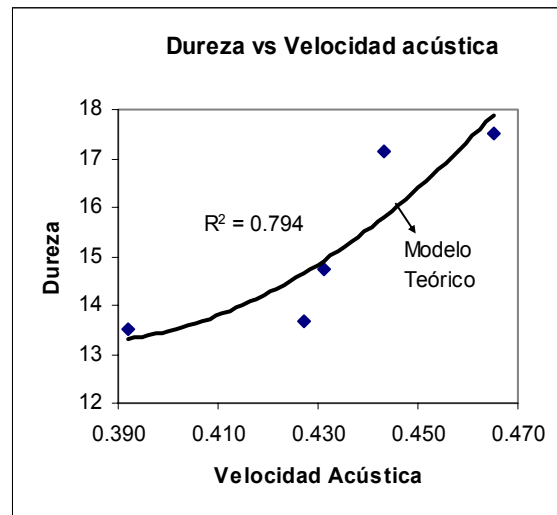


Fig. 4

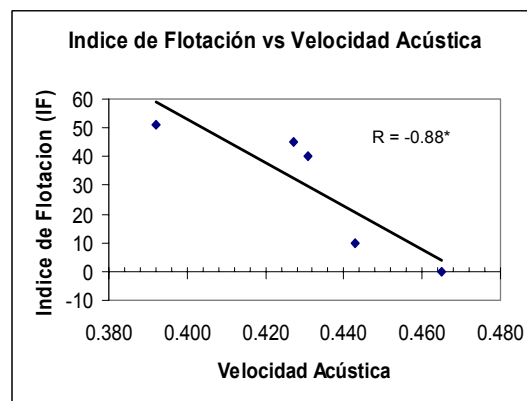


Fig. 5

4. CONCLUSIONES

El presente estudio de dureza del grano de maíz por ultrasonido presenta diversas virtudes como el de ser un examen no destructivo de la pieza, así como la medición es más rápida, por lo que esto conlleva a ser utilizado como un sistema de monitoreo de producción en línea a escala industrial.

Los resultados muestran correlaciones entre el Texturómetro Universal TA-XT e índice de flotación con la velocidad acústica. La velocidad acústica ultrasónica se incrementa con el grado de dureza del grano de maíz. Sin embargo, se requiere desarrollar el método hasta que su reproducibilidad alcance tal que se logre su correlación por lo menos $r = 0.90$, Por lo cual se realizarán más mediciones.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Nacional de Metrología (**CENAM**), particularmente al M.C. Rogelio Amezola Luna y Dr. Alfredo A. Elías del Laboratorio de Ultrasonido División de Vibraciones y Acústica por su apoyo. Así como también al Instituto Mexicano de Transporte (**IMT**), al Dr. Andrés Torres Acosta.

REFERENCIAS

- [1] Martínez, BF. y V Guiagossian. Comparación de métodos de dureza en sorgo y su relación con los parámetros de tratamiento alcalino y su calidad de tortillas. Presentado en Reunión Nacional sobre sorgo 2-5 octubre, Guadalajara, Jal. México 1989
- [2] Llull Pilar, Simal susana., Benedito jose, Roselló carmen. (2002). Evaluation of textural properties of meta-based product (sobrassada) using ultrasonic techniques, *Jornal of food Engineering* 53(2002) 279-285
- [3] Nielsen, M., & Martens, H. J. (1997). Low frequency ultrasonics for texture measurements in cooked carrots. *Transactions of the ASAE*, 40(6), 1741–1748.
- [4] Juodeikiente, G., Schleining, G., Kunigelis, V., & Adomaitis, V. (1994). Theoretical and experimental investigated correlation between acoustic and structural properties of crackers. *Ernaehrung*, 18(5), 235–237.
- [5] Mizrach, A., & Flitsanov, U. (1999). Nondestructive ultrasonic determination of avocado softening process. *Journal of Food Engineering*, 40, 139–144.
- [6] Benedito, J., Cárcel, J., Rosell_o, C., & Mulet, A. (2001). Composition assessment of raw meat mixtures using ultrasonics. *Meat Science*, 57(4), 365–370.
- [7] Lee, H., Luan, H., & Daut, D. G. (1992). Use of Ultrasonic technique to evaluate the rheological properties of cheese and dough. *Journal of Food Engineering*, 16, 127–150.
- [8] Aguilar José Peris. *Fundamentals of ultrasonics*, Editorial Alambra, 1969. Pag 1
- [9] Povey, M. J. W., & McClements, D. J. (1988). *Ultrasonics in food engineering. Part I: Introduction and experimental methods.* *Food Control*, 54, 7–14.
- [10] Whistler, R. and Paschall, E. F. 1965. *Starch Chemistry and technology.* Vol. I. Academic Press., New York, NY.