

Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays L.*)

Yolanda Salinas M.¹, Fernando Martínez B.² y Jorge Gomez H.³

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y
Universidad Autónoma Chapingo, México

RESUMEN La dureza del maíz es una propiedad intrínseca importante del grano. En la actualidad existe controversia acerca de cuál método es el más adecuado para evaluar ese grado de dureza, por lo que en el presente trabajo se compararon algunos métodos para medición de dureza, con la finalidad de identificar el más apropiado. Se empleó, para el caso, una población de maíz con un rango de dureza de suave a duro. Los métodos sometidos a prueba fueron: textura de endospermo (TE), índice de perlado (IP), índice de flotación (IF), densidad (D), reflectancia en el infrarrojo (NIR), peso hectolítrico (Ph) y tiempo de molienda en el durómetro Brabender (TDB). El método del IF resultó ser el más adecuado para determinar la dureza del grano de maíz; además de presentar bajos coeficientes de variación, permitió establecer una buena diferenciación entre los maíces de endospermo suave, intermedio y duro. El TDB y NIR no se encontraron adecuados para estimar la dureza del grano debido a que acusaron alta variabilidad en los resultados. El Ph y D mostraron dificultad para diferenciar entre maíces de endospermo intermedio y suave.

SUMMARY Comparison of methods for determining corn kernel hardness. One of the most important intrinsic properties of corn kernels is hardness. Nowadays controversy exists as to which method is more accurate to measure this property. In the present study, therefore, several methods for measuring hardness in corn kernels are compared, for the purpose of finding the most appropriate one. A corn population ranking from hard to soft was tested. The methods tested were: endosperm texture (ET), pearling index (PI) floating index (FI), density (D), near infrared reflectance (NIR), test weight (Ph) and time required to grind the corn with the Brabender automatic micro-hardness (TDB) method. The floating index (FI) method was found to be the most suitable one for determining hardness of corn kernels. This method permitted determination of the differences existing in corn with hard, intermediate, and soft-textured endosperms, with low variation coefficients. The TDB and NIR methods were not appropriate to determine the hardness of corn kernels, showing high variability in the results. With the Ph and D methods it was difficult to distinguish between corn with hard, intermediate and soft texture endosperm.

INTRODUCCION

En los últimos años se ha hecho manifiesto que cada proceso al cual se destina el maíz, requiere un tipo especial de grano, y que esta tipificación puede ser establecida en base a la dureza del mismo. Martínez y Guiragossian (1) citan que las propiedades de dureza del grano son dependientes de sus propiedades fisicoquímicas y están relacionadas con las condiciones de transporte y almacenamiento, siendo además importantes en el

procesamiento. Se han realizado algunos trabajos con la finalidad de desarrollar algún método, que directa o indirectamente, permita evaluar de manera confiable, la dureza del grano del maíz. Estas técnicas de determinación han incluido principalmente: dispositivo de trituración para medir la resistencia del grano a la ruptura, mediante un sistema hidráulico (2); el equipo Instron Universal (3,4), con mucha variabilidad en los resultados; el durómetro Brabender (5) que es un equipo basado en la molienda del grano y presenta problemas en el caso del maíz debido a su alto porcentaje de aceite, que es superior al 5%; determinación de la textura de endospermo harinoso y cristalino (1,6,7); índice de flotación (8-13), la perladora de cebada Strong-Scott en sorgo, trigo, cebada y maíz (3,10,14,15) y últimamente el durómetro Stenvert (13 16)

1,2 Investigadores de la Unidad de Laboratorios del CIFAP-MEXICO, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), Apartado Postal No. 10, Chapingo, Edo. de Mexico, C.P. 56230.

3 Pasante de la carrera de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma, Chapingo, México.

con buenos resultados. En general, en diversas partes del mundo se prefieren maíces con endospermo córneo, aunque en ciertos casos se aceptan los maíces suaves. Esto se atribuye a que los maíces córneos acusan mejores propiedades de almacenamiento y mayor eficiencia durante la molienda seca. Los aspectos de dureza, densidad, peso hectolítrico y contenido de humedad del grano de maíz se relacionan con tiempos adecuados de cocción del grano durante el procesamiento alcalino para la elaboración de tortillas (3,14,15).

Un grano suave requerirá un menor tiempo de cocimiento en contraste con un grano duro (manteniendo constante la concentración de álcali e intensidad de energía calorífica) para obtener nixtamal de condiciones óptimas para elaborar tortillas (1). Sin embargo, en la mayoría de los molinos expendedores de masa y en las plantas comerciales que elaboran harinas nixtamalizadas no se considera la anterior propiedad del grano, como criterio para asignar tiempos de cocción, una vez que carecen de un método bien establecido para evaluarla. Por este motivo, el proceso es totalmente empírico, y con ello la calidad del producto final resulta afectada.

MATERIAL Y METODOS

Se utilizó una población de maíz de Valles Altos, Estado de México. Estas muestras fueron seleccionadas para cubrir un rango de dureza de duro a suave, cosechadas bajo condiciones de riesgo. Una vez limpiadas las muestras se ajustaron a un contenido de humedad de 12% (± 0.3) colocándolas en recipientes de vidrio, y adicionándoles el agua necesaria para su acondicionamiento, agitándolas para favorecer la dispersión del agua y posteriormente dejándolas en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente. Los parámetros empleados para determinar la dureza del grano fueron:

a) Índice de perlado (IP) - De acuerdo con la metodología descrita por Buendía (15).

b) Índice de flotación (IF) - Se realizó conforme la metodología de Wichser (8). Se empleó una solución de NaNO ajustada a densidad de 1.25 g/ml mediante el uso de un picnómetro. Luego se controló la temperatura a 23°C, siendo el volumen de solución usado de 600 ml. Cien granos limpios y sanos se depositaron en la solución, agitando levemente y después de un minuto se llevó a cabo el conteo del número de granos flotantes.

c) Peso hectolítrico (Ph) - Este se efectuó de acuerdo con el método 84-10 de la AACCC (17).

d) Densidad (D) - Se utilizó etanol con grado de pureza de 99.7%, empleando un volumen de 50 ml que se colocó en una medida graduada de 100 ml; 30 gramos de grano limpio y entero se depositaron en la medida graduada que contenía el etanol, y se determinó el volumen desplazado acumulándose la densidad como una relación peso/volumen.

e) Textura de endospermo (TE) - Para determinarla se siguió el método descrito por Bedolla (7), analizándose 10 granos por muestra.

f) Reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) - Esta determinación fue usada como medida indirecta del tamaño medio de partícula en la harina (obtenida en un molino Falling Number Laboratory Mill 3100). La reflectancia se determinó en un equipo Infra-Alyser 300 Technicon a 1680 nm.

g) Micro-durómetro automático Brabender - En este caso, la determinación se llevó a cabo de acuerdo con el método descrito por Miller et al. (18) que registra el tiempo en segundos para moler 4.0 g de muestra colectados en el plato de una balanza automática.

Todos los análisis fueron realizados por triplicado. Asimismo, se efectuó análisis de varianza, así como comparaciones múltiples de Tukey, y correlaciones simples.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los coeficientes de variación (CV) fueron bajos para todos los métodos de dureza estudiados (Tabla 1). Las técnicas de Ph y NIR presentaron los menores coeficientes de variación; no obstante, considerando el menor tiempo empleado en la determinación de peso hectolítrico, este método resulta más práctico. El durómetro Brabender no se encontró adecuado para determinar la dureza, hecho atribuido a que el contenido de aceite del grano ocasionó obstrucciones en el molino, provocando gran variabilidad en los resultados. Este problema fue más evidente en la determinación de maíces suaves.

Las determinaciones con NIR mostraron buena repetibilidad; sin embargo, en maíces muy suaves se enfrentaron problemas en el empaque de las muestras, ya que la harina era sumamente fina y en algunos casos mostraba aglomeraciones debido al contenido de aceite del grano. El índice de perlado (IP), aunque acusó un coeficiente de variación (CV) semejante al índice de flotación (IF), su determinación es más complicada y demorada, por lo que es menos práctica. La aplicación del IP no es recomendable en el caso de maíces que han sido sometidos a secado artificial y manipuleo mecánico (característico de maíces importados), por lo que su endospermo se halla muy fragmentado. Al aplicarles un método que combina el impacto y la abrasión, se rompen con suma facilidad; ésto altera el IP y pueden obtenerse resultados erróneos.

Los valores de dureza para los genotipos de Valles Altos determinada esa última por los métodos bajo estudio, se consignan en la Tabla 2. El método que mejor diferencia por dureza, es el IE, ya que a los maíces suaves se les determinó el valor máximo y a los duros el valor mínimo. Según lo informado por Martínez y Lachance (3), los maíces suaves son menos densos debido a una mayor área

TABLA 1
 MEDIA, COEFICIENTE DE VARIACION Y DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA PARA CINCO METODOS DE DUREZA EN MUESTRAS DE MAICES DE VALLES ALTOS

Método de dureza	n	X	CV (%)	MSD
IP	12	25.7	2.02	1.53
IF	12	62.9	2.80	3.13
Ph	12	74.8	0.18	0.40
D	12	1.25	0.49	0.018
NIR	12	0.32	0.63	0.06

IP: Índice de perlado (%).

IF: Índice de flotación (%).

Ph: Peso hectolítrico (Kg/hl).

D: Densidad (g/ml).

NIR: Reflectancia a 1680 nm.

n: Número de muestras.

TABLA 2
 VALORES DE DUREZA EN MAICES DE VALLES ALTOS

Genotipo	TE	D (g/ml)	IP (%)	IF (%)	Ph (Kg/hl)	NIR 1680 nm
Sta. Catarina	Suave	1.2196	38.2	84.7	74.9	0.318
Tequesquinahuac I	Suave	1.1781	37.7	96.3	70.1	0.283
Tequesquinahuac II	Suave	1.2589	24.2	79.3	74.5	0.318
Ozumba	Suave	1.1905	31.8	93.3	70.9	0.297
Toluca, Méx.	Suave	1.1905	26.3	90.3	70.7	0.301
H-30	Intermedio	1.2640	26.3	53.7	75.7	0.331
Chiconcuac	Intermedio	1.2483	26.7	75.7	74.0	0.321
Chalco Méx.	Intermedio	1.2676	25.8	49.3	76.1	0.332
Tequesquinahuac III	Intermedio	1.2857	24.2	45.7	76.7	0.340
Juchitan BCP	Duro	1.3197	10.7	18.3	81.3	0.338
Criollo Regional	Duro	1.3084	21.2	17.7	76.4	0.329
Reventador	Duro	1.3720	9.3	0	86.4	0.340

n: Tres repeticiones.

TE: Tipo de endospermo.

D: Densidad (g/ml).

IP: Índice de perlado (%).

IF: Índice de flotación (%).

Ph: Peso hectolítrico (Kg/hl).

NIR: Reflectancia a 1680 nm.

porosa en su endospermo. A su vez, Watson y Ramstad (9) señalan que los maíces de endospermo suave presentan densidades más bajas que las de endospermo duro. Para el genotipo "Reventador" se obtuvo un IF de cero, pues todo el grano se fue al fondo del vaso que contenía la solución. Este resultado es lógico, ya que el maíz "Reventador" tenía un endospermo muy duro y su densidad fue la más alta (1,370 g/ml). El IF y el Ph fueron los métodos que mayor asociación acusaron en relación a las características del endospermo de maíz; según se puede apreciar, para los genotipos del endospermo suave, con el IF se obtuvieron los valores más altos, y para los de endospermo duro, los valores más bajos. Con el Ph se observó que los maíces de

endospermo duro presentan el máximo valor, y los de endospermo suave, el valor más bajo, ya que ambos parámetros se encuentran inversamente asociados (11). No obstante, el Ph no permitió una buena diferenciación entre los maíces de endospermo suave e intermedio, ya que comparando el rango obtenido para los maíces suaves (70.1-74.9 kg/hl) y el asignado a los materiales intermedios (74.0-76.7 kg/hl), se observa que existe un traslape de valores.

La densidad y el índice de flotación se hallan relacionados de manera inversa, la densidad máxima (maíz "Reventador") se asoció al valor mínimo de índice de flotación. Con el IP los resultados en cuanto a dureza no fueron muy congruentes, sobre todo en los maíces de

TABLA 3
CORRELACIONES¹ SIMPLES ENTRE LOS METODOS DE DUREZA PARA LOS MAICES DE VALLES ALTOS

	IP	PH	IF	NIR	TE	D
IP		-0.866	0.816	-0.740	0.811	-0.847
Ph		-	-0.877	0.882	-0.857	0.925
F			-	-0.798	0.938	-0.938
NIR				-	-0.833	0.884
TE					-	0.881
D						-

¹: $\alpha = 0.05$.

IP: Índice de perlado.

Ph: Peso hectolítrico.

IF: Índice de flotación.

NIR: Reflectancia (1680 nm).

TE: Tipo de endospermo.

D: Densidad.

endospermo suave e intermedio en los que se apreció poca diferenciación. De acuerdo con lo informado por Tran et al. (4), el IP tiene el inconveniente de que sólo evalúa la dureza de las capas externas del grano, por lo que la medición de la textura real es incompleta.

Respecto a la utilidad del NIR para estimar la dureza del maíz, los resultados obtenidos indican poca diferenciación entre los genotipos de endospermo suave, lo que se atribuye a la aglomeración de las muestras al ser molidas.

La ordenación de las muestras por las técnicas de D y Ph fue similar, ya que ambas miden prácticamente lo mismo. Pomeranz et al. (5) han informado una correlación entre estos métodos (de + 0.94); sin embargo, el Ph es un método más práctico que la D.

En la Tabla 3 se observa que los métodos estudiados se encuentran altamente correlacionados. De los valores resultantes, destaca el obtenido entre TE e IF. Considerando que la dureza del maíz se atribuye a la proporción de endospermo harinoso y cristalino que el grano presenta (9), la elevada correlación (+ 0.93) entre estos métodos significa que el IF es el que mejor evalúa la dureza del grano.

Se apreció una alta correlación entre los métodos de Ph y D (+ 0.925), lo cual coincide con lo notificado por Pomeranz et al. (11). El Ph muestra correlaciones altamente significativas con los métodos de IF, NIR, TE y D. La elevada correlación entre IF y D se debe a que ambos métodos están muy relacionados, ya que su principio es el mismo; el IF se fundamenta en la respuesta del grano a flotar o sumergirse en una solución con densidad ajustada, por lo que puede decirse que el IF es una densidad relativa.

Los métodos que acusaron menor correlación fueron el IP y el NIR ($r = -0.74$) hecho atribuido a que el método de NIR presentó problemas para diferenciar los maíces suaves. A su vez, el IP fue poco eficaz para discriminar entre maíces suaves e intermedios, ya que estos materiales -generalmente

durante el análisis- no resisten el impacto al que son sometidos y se rompen, alterando así los resultados.

CONCLUSIONES

De los métodos investigados en el presente estudio, el índice de flotación resultó ser adecuado para estimar la dureza del maíz, ya que permite diferenciar genotipos de endospermo suave, intermedio y duro.

El durómetro Brabender (TDB) y la reflectancia en el infrarrojo (NIR) son métodos influenciados por el contenido de aceite en el grano, ocasionando alta variabilidad en los resultados, principalmente en el caso de maíces suaves.

El índice de perlado (IP) es un método influenciado por el tratamiento post-cosecha (secado) al que se somete el grano, ocasionando estos parámetros, resultados erróneos en la determinación.

El índice de perlado (IP), peso hectolítrico (Ph) y densidad (D) en algunos casos no permiten diferenciar entre genotipos de endospermo suave e intermedio.

REFERENCIAS

1. Martínez, BF. & V Guiragossian. 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. Bennett, HE Kernel hardness in corn. IA Machine for the rapid determination of kernel hardness. Cereal Chem, 27:222, 1950.
3. Martínez Herrera, ML & PA Lachance. Corn (*Zea mays* L.) kernel hardness as an index of the alkaline cooking for tortilla preparation. Food Sci, 44:377, 1979.
4. Tran, TL, JM Deman & VF Rasper. Measurement of corn kernel hardness. Can Ind. Food Sci Technol J., 14:42, 1981.
5. Pomeranz, Y, CR Martin, DD Taylor, & FS Lai. Corn hardness determination. Cereal Chem, 61:147, 1984.

6. Kapassi-Kakama, J Some characteristics which influence the yield and quality of pearled sorghum grain. In: DAV Densy Chirman, 1977. ICC Study Group 32 Ed. In: Proceedings of a Symposium on Sorghum and Millets for Human Food. Held at the 9th Congress of the International Association for Cereal Chemistry, Vienna 11-12 th May, 1976, 1977, p. 21-26.
7. Bedolla, S Effect of Genotype on Cooking and Texture of Corn Tortilla Production. Ms. Thesis, Texas A & M University, College Station, TX, USA, 1981.
8. Wichser, ER The world of corn processing. American Miller Process, 89(3):23-24, 29, 1961.
9. Watson, AS & PE Ramstad. Corn: Chemistry and Technology St. Paul Minnesota, American Association of Cereal Chemists, Inc., 1987, p. 150-151.
10. Maxson, ED, WB Fryar, KE Rooney & MN Krishnaprasad. Milling properties of sorghum grain with different proportions of vitrious to floury endosperm. Cereal Chem, 48:410, 1971.
11. Pomeranz, Y, GE Hall, Z Czuchajowska, & FS Lai. Test weight, hardness and breakage susceptibility of yellow dent corn hybrids. Cereal Chem, 63(4):349-351, 1986.
12. Chesterfield, RS, & WC Bornes. Wheat grain hardness: Relationship between pearling resistance and particle size distribution of flours. J Australian Inst. of Agric. Sci, March: 72-73, 1973.
13. Pomeranz, Y, Z Czuchajowska & FS Lai. Comparison of methods for determination of hardness and breakage susceptibility of commercially dried corn. Cereal Chem, 63: 39-43. 1986.
14. Ochoa, COJ. Estudio de los Factores de Dureza, Temperatura y Tiempo en la Nixtamalización del Maíz (*Zea mays L.*) Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1981, 148 p.
15. Buendia, GNO. Características Morfológicas de Mazorca, Propiedades Físicas y de la Calidad Protéica del Maíz. (*Zea mays L.*) Normal y Mejorado Relacionado con el Proceso de Nixtamalización. Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1981. 159 p.
16. Pomeranz Y, Z. Czuchajowska, C.R. Martin, & FS. Lai Determination of corn hardness by the stentvert hardness tester. Cereal Chem, 62:108, 1985.
17. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the AACC. Washington, D.C., The Association, 1976.
18. Miller, BS, SA Afework, JW Hughes & Y Pomeranz. Wheat hardness: Time required to grind wheat with the Brabender Automatic Micro Hardness Tester, 1981.