



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS RELACIONADOS CON LA DUREZA DEL GRANO DE MAÍZ

Percibaldi, N M* ; Aquilano, C G ; Christeler, B ; Ferrand, J ; Ludueña, J.

EEA INTA Pergamino, Unidad Integrada UNNOBA-INTA, Argentina.

*percibaldi.nora@inta.gob.ar

EVALUATION OF PHYSICAL PARAMETERS RELATED TO KERNEL HARDNESS IN MAIZE

ABSTRACT

The physical and chemical characteristics of maize kernels determine their suitability for different end-uses and destinations. At the Food Quality Laboratory of EEA INTA Pergamino, four analytical methodologies were evaluated to estimate endosperm hardness: Test Weight (TW), Grain Density (GD), Milling Ratio (MR), and Flotation Index (FI). Repeatability and reproducibility showed low coefficients of variation, indicating a high degree of precision for the studied methods. A total of 104 commercial open-pollinated maize hybrids, harvested at physiological maturity and air-dried to equilibrium moisture content, were evaluated. Samples were sourced, mainly from the Northern Buenos Aires Hybrid Evaluation Network 23/24, seed companies, and others from private growers. Descriptive statistical analysis was performed to determine the mean and extreme values of the study population. Pearson's Correlation showed the strongest relationship between FI vs. GD, indicating that denser and more compact maize grains (those with higher GD) experience lower flotation. Furthermore, analysis of principal component indicated that first axis condenses almost 86 % of the variability of the four parameters, allowing the classification of current commercial hybrids according to endosperm hardness.

Keywords: *Zea mays* L., physical quality, grain hardness, classification, flotation index.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial. Su capacidad de adaptación a diferentes ambientes ha sido superior a la de muchos otros cultivos, esto lo convirtió en uno de los cereales más productivos del mundo.

El maíz posee múltiples usos, para lo cual exige características específicas en la calidad de sus granos. La heredabilidad de los caracteres relacionados con la calidad depende de las contribuciones de la variabilidad genética y ambiental.

La calidad del maíz está principalmente determinada por la estructura física (tamaño, forma, color y dureza del endosperma) y composición química (proteína, almidón y aceite) del grano.

La dureza del endosperma es la principal característica del grano de maíz que determina su calidad y potencial como materia prima en los procesos industriales. Se considera dureza del grano a la resistencia que posee a la acción mecánica o al quebrado durante la cosecha y la postcosecha.



Comercialmente, el maíz se clasifica por su dureza en varios tipos: los maíces duros o *flint*, con endosperma predominantemente vítreo; los dentados, característicos estadounidenses; los reventadores, conocidos como pisingallo o *popcorn*; y los harinosos, con endosperma blando.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP, 1994) reglamentó las especificaciones que deben cumplir cada tipo de maíz y que establecen los precios de mercado.

Es crítico analizar la homogeneidad u heterogeneidad física de los lotes de granos de maíz que llegan a los acopios, para alcanzar el mayor rendimiento industrial. En las industrias los granos de maíz pueden convertirse en productos con valor agregado, es decir, la transformación en alimentos balanceados para ganadería, avicultura, etc.; o ser materia prima para la molienda seca, molienda húmeda o para las industrias de las fermentaciones.

Además, es importante tipificar los diferentes tipos de granos para asistir el mejoramiento genético para crear nuevas líneas o híbridos, y así obtener cultivares con características de usos específicos.

En laboratorios de EEA Pergamino, y utilizando 4 técnicas Eyherabide y col. en 1996, lograron tipificar los híbridos comerciales del mercado de aquella época, con lo cual pudieron distinguir entre granos harinosos, semiduros y vítreos. Dos de estas técnicas se continúan usando en nuestro laboratorio, es decir en el sector Física de Granos del Laboratorio de Calidad de Alimentos (LCASyA) de la EEA INTA Pergamino.

Se plantea como hipótesis probar que los híbridos de maíz comerciales actuales arrojan valores para las variables físicas similares a los estudiados en la publicación antes mencionada. En este trabajo se pretende obtener rangos específicos de los diferentes tipos de maíz del mercado.

OBJETIVO

Objetivo 1

El objetivo 1 de este trabajo fue evaluar la precisión de cuatro variables físicas relacionadas con la dureza del grano de maíz, (Peso Hectolítrico (PH), Índice de Flotación (IF), Relación de Molienda (RM) y Densidad de Grano (DG)).

Objetivo 2

El objetivo 2 de este trabajo fue caracterizar los diferentes híbridos comerciales que actualmente hay en el mercado y clasificarlos según la dureza del endosperma de sus granos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el Objetivo 1, se evaluó la precisión de los métodos utilizados (PH/IF/RM/DG) relacionadas con la dureza del endosperma del grano de maíz, utilizando las pruebas de repetibilidad y reproducibilidad.

Para evaluar la repetibilidad de los métodos se realizaron 6 determinaciones de una misma muestra, en el mismo día, por el mismo analista. Se utilizó el mismo

equipamiento y se mantuvieron iguales las condiciones ambientales y de operación. La repetibilidad se calculó utilizando el coeficiente de variación (CV %).

Para evaluar la reproducibilidad de los métodos se realizaron 6 determinaciones de la misma muestra bajo diferentes condiciones: diferentes días y diferentes analistas. Se utilizó el mismo equipamiento, diferentes condiciones ambientales y de operación. Para determinar la reproducibilidad se calculó el CV %.

Para el Objetivo 2, se evaluaron 104 híbridos comerciales de maíz, de libre polinización, cosechadas en madurez fisiológica y secadas a temperatura ambiente hasta alcanzar la humedad de equilibrio. Las muestras procedieron en su mayoría de la Red de Evaluación de híbridos del Norte de Buenos Aires 23/24, de la que participan semilleros y el resto fueron provistas por productores particulares.

Todos los análisis estadísticos realizados se efectuaron con el software InfoStat (2020).

Se realizaron análisis de estadística descriptiva, análisis de correlación de Pearson y análisis multivariado de componentes principales (ACP).

Para determinar el PH se aplicó el procedimiento detallado en SAGyP (1994); para el IF se utilizó la resolución de SAGyPA (1997); para la RM se utilizó el protocolo de De Dios y col. (1992) y finalmente para la DG se siguió el protocolo por Correa (2002).

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para la repetibilidad fueron los siguientes: el CV % de la metodología de PH fue de 0,002 %, IF fue de 2,08 %, RM fue de 0,94 % y la DG fue de 0,006 %. Estos valores corresponden a la mínima variabilidad entre las determinaciones de cada metodología.

Los resultados obtenidos para la reproducibilidad fueron los siguientes: el CV % de la metodología de PH fue 0,006 %, IF fue de 4,96%, RM fue de 1,51 % y la DG fue 0,018 %. Estos valores corresponden a la máxima variabilidad de cada procedimiento analítico respectivamente.

Para responder al objetivo 2 se muestran los resultados en las tablas siguientes.

Tabla 1. Resultados del análisis estadístico descriptivo

Parámetro Estadístico	PHect (kg/hl)	IF (%)	RM	DG (g/cm ³)
Media	75.60	71.42	4.06	1.220
Mediana	75.35	83.50	3.85	1.210
DE	2.25	28.23	1.10	0.040
Varianza	5.06	796.93	1.21	0.002
Valor Mínimo	70.10	0.00	1.90	1.070
Valor Máximo	85.00	100.00	8.10	1.330
Rango Total	14.90	100.00	6.20	0.260

PH: El promedio general es de 75.60 kg/hl, situándose justo en el límite inferior de lo que comercialmente se exige para maíces de calidad *flint*. La desviación estándar baja (2.25) indica que los PH son homogéneos en la mayoría de las muestras, aunque el rango fue desde un mínimo de 70.10 hasta un máximo de 85.00 kg/hl para los granos más duros.



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

IF: Fue la variable que mostró mayor dispersión del análisis. La media de 71.42 % y la mediana se elevó a 83.50 %. Esto demuestra estadísticamente que el lote estuvo fuertemente sesgado hacia valores altos correspondiente a los granos harinosos. La alta desviación estándar (28.23) confirma que el conjunto de muestras fue heterogéneo, conteniendo desde granos con 0.00 % de flotación hasta 100 %.

RM: Presentó un promedio de 4.06. Fue la característica más relacionada directamente con la dureza del endosperma. Los valores mínimos y máximos fueron 1.90 y 8.10 respectivamente.

DG: la densidad promedio se ubicó en 1.220 g/cm³. El valor mínimo de 1.070 g/cm³ describió a las muestras con granos más harinosos, mientras que el máximo de 1.330 g/cm³ perteneció estrictamente a maíces con endosperma vítreo.

Tabla 2. Resultados del análisis de correlación

El análisis de correlación de Pearson permite cuantificar la magnitud y sentido o dirección de la relación lineal entre las variables físicas de la población en estudio. Para un nivel de significancia de 0.05 ($P > 0.05$), los valores por encima de la diagonal corresponden a los niveles de significancia, y los valores por debajo de la diagonal, corresponden a los coeficientes de correlación de Pearson.

Variable	PH	IF	RM	DG
PH	-	0.00	0.00	0.00
IF	-0.72	-	0.00	0.00
RM	0.69	-0.67	-	0.00
DG	0.65	-0.77	0.59	-

La asociación de mayor magnitud entre las variables en estudio se observó entre IF vs. DG ($r = -0.77$). Otras asociaciones interesantes se observaron entre IF vs RM, PH vs IF y PH vs RM. Los maíces más densos y compactos (evaluados mediante las variables DG, RM y PH) tienden a presentar menor flotabilidad.

Tabla 3. Resultados del análisis de componentes principales

El ACP reduce la dimensionalidad de las 4 variables originales, permitiendo entender la estructura global de calidad del conjunto de muestras analizadas de maíz de forma simplificada.

El análisis matemático revela que un solo componente principal (CP) es suficiente para capturar casi la totalidad de la información del lote.

Componente Principal	PH	IF	RM	DG	Valor Propio	% de Varianza Explicada	% de Varianza Acumulada
CP1	-0.50	0.52	-0.48	-0.50	3.04	76	76
CP2	0.27	0.29	0.68	-0.62	0.44	11	87

En este análisis se utiliza el Componente Principal 1 (CP1) que representa por sí solo el 76 % de la variabilidad de los cuatro parámetros (PH, IF, RM y DG), reflejando suficientemente la variabilidad de las muestras para la dureza del endosperma.

Tabla 4: Clasificación de dureza de granos de maíz según variables físicas

Se realizó un análisis de conglomerado para obtener 2 grupos utilizando el puntaje para el CP1. En cada grupo se calculó el valor promedio y los valores máximos y mínimos de cada variable.

Tipo de grano		PH	IF	RM	DG	CP1
DURO (vitreo)	Promedio	77.3	39	4.5	1.27	-0.83
	Rango	72.0— 85.0	0 — 83	2.3 — 8.1	1.23 — 1.33	-4.166 — 2.627
HARINOSO	Promedio	74.8	86	3.8	1.20	0.081
	Rango	70.1 — 76.9	43 — 100	1.9 — 6.8	1.07 — 1.26	-2.176 — 2.037

Teniendo en cuenta los rangos para las variables físicas y los resultados obtenidos de cada muestra, se observó que existen muestras que discriminan claramente en dos grupos; mientras que otras muestras se solaparon. Los valores correspondientes a las muestras que quedaron solapadas podrían considerarse en un grupo intermedio, que podría ser llamado “grupo semiduro”.

De acuerdo con los criterios establecidos por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA, 1997), los granos destinados a la clasificación de tipo Flint (duros) deben cumplir con exigencias físicas y morfológicas estrictas. Desde el punto de vista físico, se requiere un PH igual o superior a 76 kg/hl y un IF inferior o igual al 25%. Además, a nivel morfológico, los granos Flint o plata deben cumplir lo siguiente : a) su corona no presenta hendidura, y b) en un corte longitudinal, su endosperma debe presentar una parte central harinosa, rodeada de una parte cornea; esta última deberá representar la parte dominante de la superficie total de corte. El porcentaje de estos granos no deberá ser inferior al 95% con una tolerancia de -3%.

Al evaluar el comportamiento de la población bajo estudio frente a estos parámetros normativos, se observó que un total de 36 muestras lograron superar el umbral mínimo de PH requerido, manifestando una elevada densidad aparente en la mayoría de los materiales evaluados; mientras que, únicamente 11 muestras registraron valores inferiores o iguales al límite estipulado para el IF. Esto denota una proporción reducida de granos con la estructura vítrea compacta que exige la norma. Al cruzar estas dos variables físicas (PH e IF), solo 11 muestras cumplieron de manera simultánea con los requisitos. Este último hallazgo revela que el Índice de Flotación actuó como el principal factor limitante para la clasificación comercial. Aquellas muestras que poseían un PH adecuado, pero fallaron en el IF evidenciaron estructuras internas con un desarrollo de endospermo harinoso superior al permitido, quedando excluidas de la categoría Flint estricta.

En cuanto a la DG, los resultados coinciden con lo reportado por Correa (2002) y Farace (2021), quienes relacionan alta DG con mayor dureza del grano.

Al comparar datos obtenidos en este trabajo con los valores publicados por Eyherabide y col. (1996) puede observarse valores más altos para los híbridos actuales, para las variables PH y RM. El rango de los valores de PH actuales fue de 70.1 a 85.0 y para el trabajo publicado por los autores antes mencionado fue de 74.2 a 81.7. El rango de los valores de RM actuales fue de 1.9 a 8.1 mientras que los publicados anteriormente fue de 1.8 a 6.2. Estos resultados reflejan mayor variabilidad de la población de híbridos comerciales actuales en este estudio.

CONCLUSIONES

Los análisis de repetibilidad y reproducibilidad demostraron una alta precisión de los métodos evaluados evidenciados en sus bajos coeficientes de variación.

Se logró clasificar la población en estudio en dos grupos, duros y harinosos según el primer componente principal basado en las cuatro variables en estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, A. (2006). Maíz y nutrición: Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Aplicaciones del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias. Maizar:

<https://www.maizar.org.ar/documentos/ils%20maizar.pdf>

Correa, C. E. S., Shaver R. D., Pereira M. N., Lauer J. G., and Kohn K. (2002). *Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability*. Journal of Dairy Science, 85(11), 3008-3012

De Dios, C.A., Puig, R.C. y Robutti, J.L. (1992). *Tipificación de maíces por algunos caracteres de sus granos*. Informe Técnico N° 265. Estación Experimental Agropecuaria. INTA. Pergamino. 12 pp.

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.

Eyherabide G. H., Robutti J. L., Puig R. C. y Luqui B. (1996). *Caracterización de la calidad física del grano de cultivares argentinos de maíz*. INTA Pergamino, Informe Técnico N° 313.

Farace, L. (2021). *Determinación genética de caracteres de interés para el desarrollo de ideotipos de maíz destinados a la producción de bioetanol*. Tesis doctoral UNR.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (1994). Resolución N° 1075/94. Norma XII - Norma de Comercialización de Maíz. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/norma12-maiz.pdf>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (1997). Resolución N°757 Maíz Flint o Plata. Recuperado de: <https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/45000-49999/46664/norma.htm>

Presello, D. A., Giménez, F. J., & Ferraguti, F. J. (2022). La producción de maíz en Argentina. En Título del libro o serie (Vol. XIV).



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a los Ing. Agr. que aportaron las muestras de maíz para la realización de este trabajo, ellos son Luciana Galizia, Roberto Lorea, Fernanda González, Agustin Galareto y a Guillermo Eyherábide por las sugerencias aportadas.