



Revista Fitotecnia Mexicana
Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.
revfitotecniamex@somefi.org
ISSN (Versión impresa): 0187-7380
MÉXICO

2007

Ernesto David Narváez González / Juan de Dios Figueroa Cárdenas / Suketoshi Taba
ASPECTOS MICROESTRUCTURALES Y POSIBLES USOS DEL MAÍZ DE
ACUERDO CON SU ORIGEN GEOGRÁFICO
Revista Fitotecnia Mexicana, año/vol. 30, número 003
Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.
Chapingo, México
pp. 321-325

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Universidad Autónoma del Estado de México

<http://redalyc.uaemex.mx>



ASPECTOS MICROESTRUCTURALES Y POSIBLES USOS DEL MAÍZ DE ACUERDO CON SU ORIGEN GEOGRÁFICO

MICROSTRUCTURAL FEATURES AND POSSIBLE END USES OF MAIZE ACCORDING TO ITS GEOGRAPHIC ORIGIN

Ernesto David Narváez-González¹, Juan de Dios
Figueroa-Cárdenas^{2*} y Suketoshi Taba³

¹Estudiante de posgrado, Universidad Autónoma de Querétaro, México. Dirección actual: BANPRO 1 C. S, 1 ½ C. O, Jinotepe, Carazo, Nicaragua, ²Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN, Unidad Querétaro Libramiento Norponiente No. 2000 Fracc. Real de Juriquilla. 76230, Querétaro, Querétaro, México. ³Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Carr. México-Veracruz Km. 45 El Batán. 56130, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor para correspondencia (jfigueroa@qro.cinvestav.mx)

RESUMEN

La mayoría de los estudios microestructurales del maíz se han orientado a la industria de los almidones y pocos se han relacionado con alimentos o calidad de tortilla. Se estudió la relación entre la microestructura del grano y las propiedades funcionales de razas de maíz de América Latina, y su posible uso de acuerdo con la zona geográfica. Se analizaron aspectos microestructurales, como grado de compactación de los cuerpos celulares del endospermo, tamaño y morfología del gránulo de almidón, de 71 razas de maíz. El uso final del grano estuvo relacionado con su microestructura. Granos con altos grados de compactación, con gránulos de almidón pequeños (< 12 µm), de forma hexagonal y rodeados de una densa matriz proteica, predominaron en razas aptas para elaborar palomitas de maíz. A medida que el grado de compactación y el grosor del pericarpio (75 µm) disminuyeron, aumentó el tamaño del gránulo de almidón y el grano correspondió a razas aptas para botanas, harinas, “tortillas”, “pozoles” y “atoles”. Las razas apropiadas para elaborar “pozoles” y “atoles” presentaron gránulos de almidón esféricos y menor grosor de pericarpio (32 µm). Las razas apropiadas para elaborar tortillas y harinas nixtamalizadas presentan ambas clases de morfología debido a la proporción casi igual de endospermo suave y duro en el grano. Las razas de México y Sudamérica tuvieron una amplia variación en los usos estudiados, mientras que las de Centroamérica y El Caribe mostraron ser apropiadas solamente para tortillas y botanas.

Palabras clave: *Zea mays*, almidón, microestructura, pericarpio, razas de maíz, usos del maíz.

SUMMARY

Most microstructural studies of maize have been starch industry oriented and only a few have been related to food or tortilla quality. The relation between kernel microstructure and functional properties of Latin American maize (*Zea mays* L.) races and their possible uses in relation to their geographical origin was studied. Seventy-one races

were analyzed for microstructural features such as endosperm cell bodies compactation and starch granule size and morphology. The final use of its grain was related to the microstructure. Highly compacted kernels, with small (< 12 µm), hexagonal-shaped starch granules surrounded by a dense protein matrix, were more frequent in races suited for popcorn. As compactness and pericarp thickness (75 µm) decreased the size of starch granules increased, and that race became more suitable for snacks, flour, tortillas, “pozole” and “atole”. The races appropriate for making “pozole” and “atole” had spherical starch granules and thinner pericarp (32 µm). The races appropriate for making tortillas and nixtamalized flour evidenced both kinds of morphology due to the nearly equal proportions of hard and soft endosperm in the kernels. Races from México and South America showed wide variation in the end uses studied, while those from Central America and the Caribbean were found to be appropriate only for tortillas and snacks.

Index words: *Zea mays*, starch, microstructure, pericarp, corn races, maize end-use.

INTRODUCCIÓN

Gran parte de la diversidad genética del maíz (*Zea mays* L.) se concentra en América, principalmente en México, donde se consume en forma de “tortillas”, “arepas”, “pinolles”, “atoles”, “tostadas”, “botanas”, “tamales” y “elotes”, entre otros alimentos (Figueroa *et al.*, 2005). La elaboración de cada uno de esos productos requiere de granos con características de color, tamaño y dureza específicas.

La clasificación de las razas de maíz se ha hecho desde los puntos de vista botánico, genético, agronómico, citológico y taxonómico (Wellhausen *et al.*, 1952; Hernández y Alanís, 1970), sobre todo con base en descriptores fenotípicos de la mazorca o grano (Wellhausen *et al.*, 1952). Pocos trabajos abordan caracteres físicos del grano (dureza, gravedad específica, tamaño, peso de mil granos) y su relación con la calidad de la tortilla (Mauricio-Sánchez *et al.*, 2004; Figueroa *et al.*, 2005) y menos aún los aspectos microestructurales (tamaño del gránulo de almidón, grado de compactación, grosor del pericarpio, morfología del gránulo, tamaño del gránulo en endospermo suave, porcentaje de endospermo suave y duro) y su relación con el uso final y la calidad del grano.

Los estudios de microestructura se han orientado principalmente a la industria de los almidones y evalúan el almidón aislado, ya sea para estudiar sus propiedades térmicas y funcionales (Seetharaman *et al.*, 2001), tamaño del gránulo (Campbell *et al.*, 1996) y contenido de amilosa (Robutti *et al.*, 2000). Sin embargo, en la industria alimentaria y específicamente la relacionada con la producción de tortilla, los estudios del almidón aislado de la matriz proteica del maíz proporcionan información limitada para predecir el uso final de las razas, que paradójicamente los indígenas desarrollaron con propósitos alimentarios. Además, Goodman y Bird (1977) indican que las relaciones entre razas de diferentes regiones han sido poco estudiadas.

En esta investigación se analizaron los aspectos microscópicos del grano de maíz como un sistema (no solamente el almidón aislado) y se evaluaron las relaciones entre razas de diversas regiones de América Latina, con base en la calidad del grano, para determinar la relación entre la microestructura y la calidad, así como su posible uso de acuerdo con la zona geográfica de los cuales provienen.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico. Se analizaron 71 muestras (200 granos) de razas de maíces de México, El Caribe, Centro y Sudamérica, proporcionadas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

Aspectos físicos. En cada muestra se midió el peso del mil granos (Mauricio-Sánchez *et al.*, 2004). La dureza se evaluó en 10 granos seleccionados al azar en cada raza; la parte dorsal de cada grano se sometió a una fuerza de penetración mediante un punzón, con ángulo de corte de 30°, montado al analizador de textura universal TA-XT2. Esta prueba se hizo a una velocidad de 2 mms^{-1} y una distancia de penetración de 2 mm (Mauricio-Sánchez *et al.*, 2004). La composición anatómica se determinó por disección manual, para lo cual se colocaron en un recipiente cinco granos enteros previamente pesados y se los añadieron 10 mL de agua caliente (90 °C) por 1 h; después se separó el pedicelo, pericarpio, germen y endospermo de cada grano. Cada parte se colocó en recipientes separados y después de permanecer por 12 h en un horno a 100 °C, se pesaron y se calcularon los porcentajes respectivos con base al peso total de los granos, en base seca. Esta prueba se hizo por duplicado y se presenta el promedio correspondiente. La proporción de endospermo suave y duro, expresada con base en el endospermo total, se determinó en los granos cortados longitudinalmente, como se indica en la sección de microestructura, mediante una cámara fotográfica montada en un estereomicroscopio óptico (Olympus SZ61; Olympus Imaging Europe GmbH).

Microestructura. Se utilizó un microscopio electrónico de barrido ambiental ESEM XL30 Philips que se acondicionó para que trabajara en módulo de bajo vacío, con el haz de electrones ajustado a 20 kV y aproximadamente 50 μA de corriente. Las imágenes se tomaron a 500X, 1 torr, con un detector GSE con 'spotsize' del láser de 4.6 a 5.0. El grado de compactación del almidón en el endospermo se asignó de acuerdo con los criterios siguientes: 1) Almidón esférico, con espacio libre entre gránulos y sin matriz proteica visible; 2) Almidón achatado, con poco espacio libre entre gránulos y sin matriz proteica visible; 3) Almidón poligonal, sin espacio libre entre gránulos y con matriz proteica visible; y 4) Almidón poligonal, con matriz proteica entre gránulos rodeando al cuerpo celular.

Para medir el diámetro del gránulo de almidón en el endospermo duro y suave del grano, tres granos cada raza se cortaron longitudinalmente y se dividieron en dos partes, una de las cuales se cortó nuevamente, a 4 mm de espesor, con una máquina de alta precisión (Acuttom-5 Struers) provista con un disco de diamante, y se pegó en un portamuestras de aluminio para su observación. En cada muestra se midieron entre 80 y 120 gránulos de almidón, cuyo tamaño se determinó en al menos cuatro fotografías de cada una de las áreas del grano. También se midió el grosor del pericarpio. Las fotografías se digitalizaron y procesaron con un programa de análisis de imágenes (IMAGE-J).

Propiedades de gelatinización. La curva viscoamilográfica se determinó con un equipo Rapid Visco Analyser 3C (Newport Scientific PTY LTD, Sydney, Australia), mediante el método citado por Jane *et al.* (1999) excepto de que en lugar de 8 g de almidón se utilizaron 4 g de maíz. El maíz se molió y se cribó con la malla US 60 (250 μm) y los 4 g de la harina se suspendieron en 24 mL de agua destilada; la mezcla se calentó de 50 a 92 °C por 8.5 min, luego se mantuvo a 92 °C por 5 min y se enfrió a 50 °C por 8.5 min.

Propiedades térmicas. Se aplicó el método citado por Lauro *et al.* (2000), excepto que en vez de 8 mg de almidón se emplearon 3 mg de maíz. Se utilizó el equipo DSC Mettler Toledo Mod. 821. Se colocaron 3 mg de material molido y cribado en la malla US 60 y 7 μL de agua destilada, en un crisol de aluminio que se selló con una prensa Mettler Toledo. Las muestras se calentaron de 30 a 100 °C a razón de 10 °C por minuto..

Variables de calidad de nixtamalización. Las masas se obtuvieron mediante cocimiento óhmico con base en la técnica reportada por Mauricio-Sánchez *et al.* (2004). Se midió la capacidad de absorción de agua (Arámbula *et al.*, 1999), rendimiento de masa, rendimiento de tortilla, pérdida de peso durante el cocimiento de la tortilla (Mauricio-Sánchez *et al.*, 2004) y tiempo de cocimiento.

Análisis estadísticos. Se utilizaron distancias euclidianas para designar el uso potencial del maíz (Figueroa, 1985; Mauricio-Sánchez *et al.*, 2004) y el método de Ward para evaluar las distancias entre grupos ("clusters") y asociarlas con los usos potenciales y el origen geográfico de las razas (Manly, 2000). Todos los análisis se hicieron con paquetes estadísticos de SAS (1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Microestructura. Los aspectos físicos del grano permiten hacer inferencias acerca de su calidad en las razas de maíz (Mauricio-Sánchez *et al.*, 2004; Figueroa *et al.*, 2005) pero no permiten explicar el porqué de tales diferencias. Los análisis de los aspectos microscópicos del grano pueden proporcionar tal explicación, pero la mayoría de los estudios

se han orientado a la industria de los almidones y pocos casos se han relacionado con la calidad alimentaria. Con este enfoque, las razas de maíz con granos de textura suave, como ‘Cacahuacintle’, ‘San Jerónimo Huancaveliano’, ‘Chillo’, ‘Shima’, ‘Blando’, ‘Avatí Morotí’ y ‘Cónico Norteño-Bofo’, presentaron más de 90 % de sus gránulos de almidón con diámetros mayores de 12 µm en el endospermo suave, pero casi 85 % de los gránulos eran más pequeños que 12 µm en su endospermo duro; en otras porciones del grano la variación fue de 14 a 15 µm de diámetro. Estas razas mostraron grosores de pericarpio menores de 30 µm y menor grado de compactación de los gránulos.

Lo contrario se observó en razas de textura dura, como ‘Palomero’, ‘Reventador’, ‘Arrocillo’, ‘Curagua’, ‘Cuban Flint’, ‘Pisingallo’, ‘Celaya’ y ‘Cónico’, las cuales presentaron casi 72 % de gránulos de almidón más pequeños que 12 µm en su endospermo suave y 78 % de gránulos de almidón más grandes que 12 µm en su endospermo duro. Estas razas también presentaron el más alto grado de compactación y grosores de pericarpio de más de 90 µm. Los gránulos de almidón con un grado de compactación intermedio se presentaron en razas como ‘Azul’, ‘Negrito’, ‘Naltel’, ‘Dzit-Bacal’, ‘Dulce’, ‘Bolita’, ‘Común’, ‘Montaña’ y ‘Vandefío’, en las que el grosor del pericarpio y el tamaño del gránulo de almidón también fueron intermedios. Otros estudios han consignado tamaños en gránulos de almidón de 2 a 9 µm de diámetro (Varriano-Marston, 1983; Campbell *et al.*, 1996). Seetharaman *et al.* (2001) encontraron maíces dentados con gránulos más pequeños (7.8 a 8.3 µm) que los

harinosos (8.6 a 9.9), aunque con tendencia similar a la del presente trabajo.

Agrupación por usos y microestructura. La clasificación de las razas de maíz de acuerdo con su uso final potencial (Cuadro 1), muestras que algunas razas tienen hasta tres diferentes usos, lo cual indica que la versatilidad todavía está presente. El Cuadro 2 muestra el promedio de las características microestructurales de cada grupo, de acuerdo con su potencial uso final: grado de compactación, tamaño del gránulo de almidón del endospermo duro y grosor del pericarpio, datos que indican una tendencia a disminuir en el siguiente orden de uso: “palomitas” > “botanas” > “harinas” > “tortillas” > “pozoles” > “atoles”.

La tendencia contraria se encontró para el tamaño de gránulos de almidón del endospermo suave. La excepción parece estar en las razas para palomitas, en las cuales el tamaño de gránulos de almidón en ambos tipos de endospermo tiende a ser pequeño. De igual manera, esto puede relacionarse con la morfología del gránulo de almidón para un uso potencial específico. Los gránulos de almidón de las razas apropiadas para elaborar “palomitas” o rosetas de maíz y “botanas” nixtamalizadas son hexagonales; los de las razas aptas para elaborar “pozoles” y “atoles” son esféricos; y los de razas para elaborar “tortillas” y harinas nixtamalizadas presentan ambas clases de morfología, debido a la proporción casi igual de endospermo suave y duro en el grano.

Cuadro 1. Uso final potencial de razas de maíz de Latinoamérica.

Uso final potencial	Razas
“Palomitas”	Pop-Corn, Palomero, Uchuquilla, Arrocillo-Palomero, Negrito, Cateto Sulino, Reventador, Carmen, Cónico, Pisingallo y Curagua.
“Botanas”	Común, Cuban-Flint, Padentado, Naltel, Zapalote Chico, Puya, Dzit-Bacal, Arrocillo-Palomero, Cónico, Pop-Corn, Sacramento, Tuson, Haití Yellow/Early Caribbean, Perla, Uchuquilla, Lady Finger, Sabanero, Reventador y Chococeño.
“Harinas”	Clavillo, Haití Yellow/Early Caribbean, Perla, Padentado, Uchuquilla, Dzit-Bacal, Reventador, Camelia, Olotillo, Chococeño, Cateto Sulino, Puya, Común, Cuban-Flint, Cónico-Mushito, Tuson, Quiche, Negrito, Salvador-Olotón, Salvador-Naltel y Harinoso de Ocho.
“Tortillas”	Salvador-Naltel, Diente de Caballo, Clavillo, Zapalote Chico, Salvador, Olotón, Chullpi, Montaña, Huilcaparu, Cristalino de Chihuahua, Sabanero, Cónico Norteño, Tepecintle, Shima, Dzit-Bacal, Kulli, Vandefío, Apachito, Harinoso del ocho, Tuxpeño-Norteño, Tuson, Quiche y Azul.
“Pozoles”	Cacahuacintle, Cónico Norteño-Bofo, Kulli, Pool A, Cónico-Mushito, San Jerónimo Huancaveliano y Perla.
“Atoles”	Chillo, Huatalco, Cacahuacintle, San Jerónimo Huancaveliano, Cónico Norteño-Bofo, Shima, Azul, Kulli, Huilcaparu y Cónico-Mushito.

Cuadro 2. Promedios (y desviación estándar) de las características microestructurales del maíz de acuerdo con su uso final.

Uso final potencial	Grosor del pericarpio (µm)	Grado de compactación	Morfología del gránulo de almidón	Tamaño del gránulo de almidón en endospermo suave (µm)	Tamaño del gránulo de almidón en endospermo duro (µm)
“Palomitas”	75.6±12	4	Hexagonal	9.6±1.2	9.2±1.3
“Botanas”	58.0±15	3-4	Hexagonal	10.2±0.8	11.8±1.1
“Harinas”	45.9±11	3	Ambas	10.6±1.0	10.7±0.9
“Tortillas”	44.5±13	2-3	Ambas	10.9±1.0	9.7±1.0
“Pozoles”	43.6±7	2	Esférico	12.5±1.1	9.2±0.7
“Atoles”	32.3±9	1	Esférico	13.1±1.0	9.07±0.9

. **Uso potencial y origen geográfico.** Se formaron 12 grupos al utilizar las características de aspectos físicos, microestructura, viscosidad, propiedades térmicas y variables de calidad de nixtamalización (Cuadro 3). Los resultados muestran una gran similitud, especialmente para las razas de Sudamérica, con el agrupamiento agronómico de razas latinoamericanas efectuado por Goodman y Bird (1977) y de usos reportados por Figueroa *et al.* (2005). El Grupo 1 es de razas provenientes de México y Centroamérica (la zona de Mesoamérica), las cuales mostraron ser de buena calidad para elaborar “tortillas” y harinas nixtamalizadas. El Grupo 2 (razas provenientes de México) y el Grupo 3 (clasificadas como del complejo andino por Goodman y Bird, 1977) resultaron muy cercanas en calidad en el dendrograma (no mostrado), pero están separadas geográficamente. Algo similar ocurrió con el Grupo 4 (razas de México) y Grupo 5 (razas de Sudamérica), los cuales presentaron características adecuadas para elaborar “palomitas” de maíz y se localizaron juntos en el dendrograma (no mostrado), lo que indica una relación genética muy cercana.

Los Grupos 6 y 7 son razas mexicanas parientes del maíz palomero, pero aptas para elaborar “botanas” y harinas nixtamalizadas. El Grupo 8 está formado por razas de México, Centromérica y los Andes, lo que sugiere una posible ruta de migración con amplia variabilidad en su posible uso final. El Grupo 9 pertenece a razas de México con buenas propiedades para consumo como “elotes”. El Grupo 10, similar al Grupo 8, representa otra posible ruta de migración puesto que comprende razas de México y de Centroamérica, que van hacia el Caribe y finalmente entran a Sudamérica por Colombia. Muchas razas del Grupo 10 son apropiadas para preparar “botanas” y harinas nixtamalizadas. El Grupo 11 muestra razas del noroeste de Sudamérica, según la clasificación de Goodman y Bird (1977), en la región del Amazonas, principalmente de Colombia y Brasil, las cuales pueden emplearse para producir “tortillas”, “botanas” y harinas nixtamalizadas. Finalmente, el Grupo 12 contiene una sola raza de México (Dulce de Michoacán) apropiada para elaborar “elotes” o “esquites”.

Las razas provenientes de México y Sudamérica resultaron apropiadas para los seis diferentes usos potenciales analizados, lo cual parece sugerir que la variabilidad genética es responsable de la amplia diversidad de usos finales potenciales. Una diferencia importante entre las razas de maíz de México y las de Sudamérica es que en las primeras predominan usos finales que requieren granos de textura dura-intermedia, mientras que en las de Sudamérica predominan las de textura suave. Las razas de Centroamérica mostraron potencial para elaborar harinas nixtamalizadas y “tortillas”, mientras las razas del Caribe mostraron ser apropiadas para elaborar “botanas” y harinas nixtamalizadas.

CONCLUSIONES

Existe relación entre los aspectos microestructurales del grano, tales como grado de compactación, grosor del pericarpio, tamaño del gránulo de almidón y morfología, con el uso potencial del maíz. El origen geográfico también se relaciona con el uso final. Las razas de México y Sudamérica tienen una amplia variación en usos, mientras que las de Centroamérica y el Caribe mostraron ser apropiadas solamente para “tortillas” y “botanas”.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Relaciones Exteriores de México por la beca de Maestría de Ernesto Gonzáles Narváez y al CONACYT-Querétaro por el apoyo financiero al proyecto QRO-2004-C01-38. A José Eleazar Urbina, Marcela Gaytán y José Juan Véles, del Cinvestav-Querétaro, por su apoyo técnico.

BIBLIOGRAFÍA

- Arámbula V G, S R A Mauricio, J D C Figueroa, J H González, F C Ordorica (1999) Corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *J. Food. Sci.* 64:120-124.
- Campbell M R, J Li, T G Berke, D V Glover (1996) Variation of starch granule size in tropical maize germ plasm. *Cereal Chem.* 73:536-538.
- Figueroa J D C (1985) Métodos Para Evaluar la Calidad Maltera de la Cebada. Tema Didáctico Núm. 17. SARH-INIA. México, D.F. 115 p.
- Figueroa J D C, S R A Mauricio, S Taba, E Morales, A Mendoza, M Gaytán, F Rincón-Sánchez, M L Reyes, J J Véles (2005) Kernel characteristics and tortilla making quality of maize accessions from Mexico, the Caribbean, and South and Central America. *In: Latin American Maize Germplasm Conservation: Regeneration, in situ Conservation, Core Subsets, and Prebreeding.* S Taba (ed). Proc. Workshop held at CIMMYT, April 7-10, 2003. Mexico, D.F. CIMMYT pp:51-57.
- Goodman M M, R M Bird (1977) The races of maize. IV: Tentative grouping of 219 Latin American Races. *Econ. Bot.* 31:204-221.
- Hernández X E, G Alanís (1970) Estudio de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones citogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 1:3-30.
- Jane J, Y Y Chen, L F Lee, A E McPherson, K S Wong, M Radosavljevic, T Kasemsuwan (1999) Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chem.* 76:629-637.
- Lauro M, K Poutanen, P Forsell (2000) Effect of partial gelatinization and lipid addition on α -amylolysis of barley starch granules. *Cereal Chem.* 77:595-601.
- Mauricio-Sánchez R A, J D C Figueroa, S Taba, M L Reyes-Vega, F Rincón-Sánchez, A Mendoza-Galván (2004) Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:213-222.
- Manly B F J (2000) *Multivariate Statistical Methods. A Primer.* Chapman & Hall/ CRC. 2nd ed. New Zealand. 215 p.
- Robutti J, F Borrás, Ferrer M, M Percibaldi, C A Knutson (2000) Evaluation of quality factors in Argentine maize races. *Cereal Chem.* 77:24-26.
- SAS (1999) SAS. User's Guide. V. 6.0. 4th ed. Vol. 1. Cary, N.C. 943 p.
- Seetharaman K, A Tziotis, F Borrás, P J White, M Ferrer, J Robutti (2001) Thermal and functional characterization of starch from Argentinean corn. *Cereal Chem.* 78:379-386.

Varriano-Marston E (1983) Polarization microscopy: applications in cereal science. *In: New Frontiers in Food Microstructure*. D B Bechtel (ed). Amer. Assoc. Cereal Chem. Inc. St. Paul, Minnesota. pp:71-108.

Wellhausen E J, L M Roberts, X E Hernandez, C Megendorf (1952) Races of Maize in Mexico: Their Origin, Characteristics and Distribution. The Bussey Institute Harvard Univ. 223 p.

Cuadro 3. Grupos de razas similares de maíz, de acuerdo con su origen geográfico y uso final.

Grupo	Raza	Origen	Uso final potencial	
1	Harinoso de Ocho	México	Harinas, Tortillas	
	Vandeño2	México	Tortillas	
	Salvador-Naltel	Honduras	Harinas, Tortillas	
	Salvador-Olotón	El Salvador	Harinas	
	Tepecintle	Guatemala	Tortillas	
	Cónico Norteño	México	Tortillas	
	Zapalote Chico	México	Tortillas, Botanas	
	Blando de Sonora	México	Tortillas	
	Elotes OccidentalesJ	México	Tortillas, Botanas	
	Avatí Morotí	Paraguay	Harinas, Tortillas	
	2	Cónico Norteño-Bofo	México	Atoles, Pozoles
		Cacahuacintle	México	Atoles, Pozoles
		Cónico-Mushito	México	Atoles, Pozoles
		Cristalino de Chihuahua	México	Tortillas, Atoles
Azul		México	Atoles, Tortillas	
3	Apachito	México	Tortillas	
	San Jerónimo Huancaveliano	Perú	Atoles, Pozoles	
4	Huatalco	Bolivia	Atoles	
	Huillcaparu	Bolivia	Atoles	
	Kulli	Bolivia	Pozoles, Tortillas	
	Chillo	Ecuador	Atoles	
	Chullpo	Perú	Atoles	
	Cuzco Cristalino	Perú	Atoles	
	Palomero9	México	Palomitas	
5	Palomero8	México	Palomitas	
	Arrocillo	México	Palomitas	
6	Popcorn1	Brasil	Palomitas	
	Popcorn2	Brasil	Palomitas	
7	Curagua	Chile	Palomitas	
	Celaya9	México	Botanas	
8	Arrocillo-Palomero	México	Palomitas, Botanas	
	Bolita	México	Botanas, Harinas	
	Arrocillo Amarillo	México	Palomitas	
9	Maíz DulceJ	México	Botanas	
	Cónico	México	Botanas	
	Tuxpeño Norteño	México	Tortillas	
	PoolA5C6	Ecuador	Harinas	
	Camelia	Chile	Harinas	
	PoolA8C9	Ecuador	Pozole, Harinas	
	Shima	Ecuador	Tortillas	
	Quiche	Guatemala	Harinas	
	Uchuquilla	Bolivia	Harinas, Botanas	
	Perla	Bolivia	Harinas, Botanas	
10	ReventadorN	México	Palomitas, Botanas	
	Vandeño1	México	Harinas, Botanas	
	Elotes OccidentalesN	México	Botanas	
	Olotillo	México	Harinas	
	Carmen	México	Palomitas, Botanas	
	ReventadorS	México	Palomitas, Harinas	
	Dzit-Bacal	México	Harinas, Botanas	
	Cateto Sulino	Uruguay	Harinas, Palomitas	
	Lady Finger	México	Botanas	
	Cuban Flint	Cuba	Botanas, Harinas	
	Olotón	Guatemala	Tortilla	
11	Sacramento	Islas Vírgenes	Botanas	
	Haití Yellow/ Early Caribbean	Haití	Botanas, Harinas	
	Clavillo	Panamá	Harinas	
	Tuson	Puerto Rico	Botanas, Harinas	
	Dzit Bacal	México	Botanas	
	Naltel	México	Botanas	
	Padentado	Brasil	Botanas, Harinas	
	Chococeño	Colombia	Botanas, Harinas	
	Diente de Caballo	Chile	Tortillas, Harinas	
	Sabanero	Colombia	Botanas, Tortillas	
	Montaña	Colombia	Tortillas	
	Grupo	Raza	Original	Uso final potencial
12	Pollo	Colombia	Botanas, Harinas	
	Común	Colombia	Botanas, Harinas	
	Puya	Colombia	Harinas, Botanas	
	Maíz Dulce9-M	México	Botanas (Elotes)	

J = Jalisco; N = Nayarit; M = Michoacán; S = Sonora; Número seguido del nombre indica pureza de la raza, el 9 corresponde a la mayor pureza.