

CARACTERIZACIÓN DE ACCESIONES DE MAÍZ POR CALIDAD DE GRANO Y TORTILLA

CHARACTERIZATION OF MAIZE ACCESSIONS BY GRAIN AND TORTILLA QUALITY TRAITS

Reina Araceli Mauricio Sánchez¹, Juan de Dios Figueroa Cárdenas^{2*}, Suketoshi Taba³,
María de la Luz Reyes Vega⁴, Froylán Rincón Sánchez⁵ y Arturo Mendoza Galván²

¹ Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario. Cerro de las Campanas s/n. C.P. 76010. ²CINVESTAV-IPN, Unidad Querétaro. Libramiento Norponiente No. 2000, Fracc. Real de Juriquilla. C.P. 76230, Querétaro, Qro. Correo electrónico: figueroa@ciateq.net.mx ³Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Km 45 Carretera México-Veracruz, El Batán, Texcoco, México, C.P. 56130. ⁴Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Boulevard V. Carranza s/n, C.P. 25280. Saltillo, Coah. ⁵Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Domicilio Conocido, Buenavista. C.P. 25315 Saltillo, Coah.

* Autor para correspondencia

RESUMEN

La diversidad genética de los grupos raciales ha sido determinada principalmente para caracteres de planta, fisiológicos y agronómicos, pero pocos son los trabajos que relacionan las características de calidad y su uso en la alimentación para la clasificación de germoplasma. En el presente trabajo se caracterizaron 86 accesiones de maíz (*Zea mays* L.) con base en atributos del grano y su calidad tortillera y su posible uso para la clasificación de genotipos. Las 86 accesiones corresponden a 45 razas y a cinco grupos raciales. Se determinaron características del grano (tamaño, largo, ancho, grosor, gravedad específica, peso de mil granos, dureza) y de calidad tortillera (capacidad de absorción de agua, pérdida de peso, rendimiento de masa y tortilla, y resistencia al corte de tortillas). Se detectó una asociación significativa ($P \leq 0.05$) dentro de los grupos raciales, tanto en caracteres de grano como en los de calidad tortillera. El análisis de componentes principales permitió diferenciar a los grupos raciales, lo que demostró que los caracteres de calidad tortillera contribuyen a la caracterización adicional de las accesiones, a pesar de la amplia variación genética. Asimismo, se encontró asociación entre grupos de accesiones con base en la clasificación por sus usos en alimentos, lo que corrobora la complementariedad de ambos grupos de atributos en la caracterización de germoplasma.

Palabras clave: *Zea mays* L., razas mexicanas, calidad de grano y tortilla.

SUMMARY

The genetic diversity of different racial groups has mainly been studied in terms of plant characteristics as well as physiological and agronomic traits, but few studies have taken into account the final food uses and the quality traits. In the present study 86 maize (*Zea mays* L.) accessions were classified based on kernel characteristics and in the quality of the tortillas they produced. The usefulness of

these factors in distinguishing one genotype from another was also explored. The 86 maize accessions represented 45 races and five different racial groups. Grain characteristics (size, length, width, thickness, specific gravity, weight of one thousand kernels, and hardness) and tortilla quality (water absorption capacity, weight loss, masa and tortilla yield) were measured. A significant association ($P \leq 0.05$) was found within the different race groups for both grain characteristics and tortilla quality, indicating that these are useful factors for distinguishing among different maize accessions. Principal component analysis allowed us to differentiate racial patterns, thus suggesting that tortilla quality traits, despite a wide genetic variation, may contribute to additional accession characterization. An association was also found between the different accession groups and their final food use, corroborating the usefulness of both sets of factors in the germplasm characterization.

Index words: *Zea mays* L., Mexican races, kernel and tortilla quality.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) en forma de tortilla, es uno de los principales componentes de la dieta del pueblo mexicano. Además de la tortilla, el maíz se utiliza para la obtención de botanas, atoles, pinoles, y en general para una amplia variedad de productos, cuyos usos están asociados con los tipos y características del material y su adaptación a diversas regiones agrícolas. Tal diversidad genética de las poblaciones nativas se ha logrado a través de selecciones recurrentes por sus usos en aplicaciones culinarias (Ng *et al.*, 1997), mientras que con el mejoramiento genético se han hecho importantes ganancias en rendimiento, resistencia a plagas, enfermedades y estrés. Es decir, el mejoramiento genético comúnmente no ha considerado los

factores de calidad de las variedades nativas o criollas. Por otro lado, en algunas regiones agrícolas con condiciones ambientales favorables (Jalisco, Guanajuato, Estado de México) las variedades criollas han sido reemplazadas por las variedades mejoradas, lo que ocasiona erosión genética y cambios en la calidad del producto.

La importancia del maíz en México, especialmente como parte de la alimentación de su población ha sido documentada ampliamente (Randolph, 1952; Kato y McClintock, 1981; Figueroa y Aguilar, 1997). De las 346 razas de maíz reportadas en el continente americano, por lo menos 50 se encuentran en México (Goodman y Brown, 1988). La mayor parte de estas fueron estudiadas y clasificadas por Wellhausen *et al.*, (1952), quienes consideraron caracteres de la mazorca y características fisiológicas, genéticas y citológicas. Esta clasificación incluye cinco grupos raciales: Indígenas Antiguas, Exóticas Precolombinas, Mestizas Prehistóricas, Modernas y No Bien Definidas. Posteriormente, Hernández y Alanís (1970) y otros autores contribuyeron con la descripción de 17 nuevas razas de maíz en México. Sin embargo, en ninguno de esos grupos raciales se considera a los usos culinarios como un factor de clasificación.

En México los productos elaborados a partir del maíz incluyen tortilla, totopos, tostadas, pinole, atoles y otros, de los cuales la tortilla constituye el principal producto y su consumo se ha estimado en 328 g diarios *per capita* (Figueroa *et al.*, 2001).

Algunos factores de calidad del maíz que influyen en la producción de nixtamal y de tortilla del complejo Pepitilla fueron evaluados por Vázquez *et al.* (1990). Entre las propiedades importantes para el uso alimentario del maíz están el tamaño, gravedad específica y dureza del grano, así como la capacidad de absorción de agua y rendimiento de masa, el rendimiento de tortilla, la pérdida de peso durante la cocción de la tortilla y la resistencia al corte de la tortilla. El color del grano de maíz varía ampliamente y aunque no se considera una propiedad importante para el uso alimentario del mismo, influye considerablemente en la preferencia del consumidor.

En el presente trabajo se caracterizaron 86 accesiones de maíz con base en características de grano y calidad tortillera, y su relación con sus usos alimentarios, bajo el postulado de que existe asociación entre los caracteres de grano y los de su calidad tortillera o para elaborar otros alimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las 86 accesiones de maíz estudiadas representan a 45 razas (Cuadro 1). Una muestra aleatoria de 200 semillas de

cada accesión fue proporcionada por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Del total de razas, 58% estuvo representada por dos accesiones, 33 % por una accesión, y sólo una raza estuvo representada por 10 accesiones. Las 86 accesiones se agruparon con base en la clasificación racial definidas por Wellhausen *et al.* (1952) y Hernández y Alanís (1970), como sigue: Indígenas Antiguas (7), Exóticas Pre-Colombinas (8), Mestizas Prehistóricas (36), Modernas Incipientes (6) y Razas Nuevas (29).

Características del grano

Tamaño del grano. Se determinó por quintuplicado, mediante largo, ancho y grosor, en una muestra de 10 granos, con un vernier digital Mitutoyo modelo CD-6" CS (Mitutoyo Corp. Japón). Los resultados se expresaron en mm.

Peso de mil granos (PMG). Se pesaron 100 granos obtenidos al azar de cada accesión, en una balanza Ohaus modelo Explorer 410 con sensibilidad de 0.001 g (Ohaus Corp, USA), y el resultado en gramos se multiplicó por 10.

Gravedad específica (gs). Se determinó en una muestra de 10 granos, con el método descrito por Figueroa *et al.* (1995) basado en la ecuación: $gs = pg/(pg-(pm-pa))$, donde: pg = peso de los granos; pm = peso del picnómetro con muestra; y pa = peso del picnómetro con agua.

Dureza. Se determinó por quintuplicado en una muestra de 10 granos, mediante una prueba de resistencia a la penetración medida con un analizador de textura (TA-XT2) provisto con un punzón cónico (ángulo 30°), a una velocidad de 0.5 mm s⁻¹ y una distancia de penetración de 2 mm. La dureza del grano se reportó en kg-f.

Preparación de la harina instantánea

Se molieron 10 g de maíz en un molino de café Moulinex. Cada una de las muestras con todas las partes del grano, se tamizó en una malla US 60 para uniformar el tamaño de partícula. De dicho material se hidrataron 7 g de maíz molido con 4.9 mL de agua. La mezcla se colocó en una celda de Nylamid y se coció en un equipo óhmico con un voltaje constante de 70 V hasta que el termopar registró 110 °C. La masa obtenida se deshidrató en un horno Felisa a 60 °C durante 12 h y se molió en un molino de café Moulinex para obtener harina instantánea (HI). Esta preparación se practicó por triplicado, en cada una de las muestras.

Características de la harina instantánea (HI)

Capacidad de absorción de agua (CAA). Se determinó en cada muestra de harina instantánea al mezclar manualmente la harina obtenida, previamente pesada, con agua adicionada de una bureta hasta que la masa adquirió la consistencia adecuada para troquelar tortillas, y se registró en L de agua/kg de harina (Arámbula *et al.*, 1999).

Rendimiento de masa (RM). Se calculó a partir de los datos de CAA y se expresó en kg de masa/kg de harina.

Preparación de la tortilla

Las tortillas se troquelaron con una máquina tortilladora manual de rodillos marca Herrera. Se calibró la abertura entre rodillos con un calibrador de lanas marca Kastar. Las características de las tortillas en masa fueron: 1.2 mm de espesor y 3.6 cm de diámetro.

Pérdida de peso durante el cocimiento de la tortilla (PP). Las tortillas crudas se cocieron sobre una placa metálica a 280 ± 10 °C durante 30 s por un lado, 25 s por otro y 15 s nuevamente por el primer lado, para la formación de la capa delgada, capa gruesa e inflado, respectivamente. Las tortillas cocidas se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se pesaron en una balanza analítica Ohaus modelo Voyager (Ohaus Corp, USA); la pérdida de peso se calculó mediante la ecuación: % PP = [(Peso de tortilla cruda - Peso de tortilla cocida)/(Peso de tortilla cruda)] 100.

Rendimiento de tortilla (RT). Se calculó de la siguiente manera: $RT = RM (1 - PP)$, donde: RM = rendimiento de masa y PP = fracción de pérdida de peso. El rendimiento de tortilla se expresó en kg de tortilla/kg de harina instantánea.

Resistencia al corte de las tortillas (RC). Se determinó por quintuplicado con un analizador de textura TA-XT2 (Texture Technologies Corp, UK) provisto con una cuchilla plana (TA-90) de 3 mm de espesor y 2.93 cm de ancho, que viajó a una velocidad de 2 mm s⁻¹ y una profundidad de 15 mm. Los resultados se expresaron en kg-f.

Designación de usos en la alimentación. Con base en las distancias euclidianas (Figueroa, 1985) se designó el uso en la alimentación de los maíces evaluados, mediante el paquete estadístico SAS (1989). Para ello se efectuaron los siguientes pasos. a) Se fijó el óptimo de calidad de la variable i-ésima con base en las características preferidas,

según lo descrito por Wellhausen *et al.*, (1952) y Hernández (1972); se usó el modelo: $X_{oi} = \mu_i \pm N\sigma_i$, donde X_{oi} = óptimo de calidad para la variable i-ésima, μ_i = media de la variable i-ésima, $\pm N\sigma_i$ = número de desviaciones estándar utilizadas para fijar el punto o criterio de comparación para la variable i-ésima en la población. El signo positivo corresponde a estimadores positivos de calidad (como alta CAA para atoles) y negativos (como baja CAA para palomitas). b) Se normalizan las unidades de los parámetros de calidad a valores de distribución Z; para ello se obtuvo la distancia de la muestra j-ésima para la variable i-ésima: $d_{ji} = (X_{ji} - X_{oi})/\sigma_i$, donde X_{ji} es el valor observado, y luego se obtienen los valores absolutos de dicha distancia: $E_{ji} = [(d_{ji})^2]^{1/2}$. c) Se hace uso de ponderantes para enfatizar la importancia de cada variable y obtener la distancia euclidiana de la muestra j-ésima, con la ecuación:

$$Ec_j = \left[\sum_{(i=1)}^n (\beta_j d_{ji})^2 \right]^{1/2}.$$

Análisis estadístico

Se hizo un análisis de varianza para probar los efectos de grupos raciales y de razas dentro de grupos, mediante un diseño completamente aleatorio, así como un análisis de correlación para determinar los niveles de asociación entre los caracteres en estudio. También se efectuó un análisis de componentes principales (SAS, 1989; Johnson y Wichern, 1992) para explorar la asociación entre los grupos raciales y la clasificación de accesiones por su uso en la alimentación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre grupos raciales para todos los caracteres de grano, excepto en el largo y dureza del grano; resultados similares se detectaron entre razas dentro de grupos. No se encontraron diferencias significativas entre grupos raciales para los caracteres de rendimiento y calidad tortillera, pero sí entre razas dentro de los grupos, en la capacidad de absorción de agua, pérdida de peso y resistencia al corte ($P \leq 0.05$). Estos resultados se atribuyen en parte a que las 45 razas de maíz y los cinco grupos raciales estuvieron representados por diferente número de accesiones; y por otra parte a que el muestreo de los individuos en la accesión y el origen de producción de semilla pudieron ser diferentes. La variación significativa detectada tanto en caracteres de grano como en los de calidad tortillera, sugiere que ambos grupos de caracteres pueden ser útiles para la clasificación y discriminación de accesiones de maíz.

Cuadro 1. Características físicas de grano y variables de calidad de harinas y tortillas de accesiones de razas de maíz pertenecientes a los grupos raciales Indígenas-Antiguas, Exóticas-Precolombinas y Modernas Incipientes.

Accesión	Razas	Altitud (msnm)	Usos [†]	PMG (g)	GS	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Dureza (kg-f)	CAA ^{††}	PP (%)	RT ^{†††}	RC (kg-f)
Indígenas Antiguas													
PUE91	Arrocillo Amarillo	2060	p	214.0	1.24	12.8	6.0	4.0	11.9	1.10	29.97	1.47	0.53
SIN2	Chapalote	61	p	171.0	1.27	8.5	7.6	7.6	14.4	0.92	30.00	1.35	0.95
SIN6	Chapalote	75	p	171.0	1.30	7.9	6.7	4.6	11.5	1.01	27.79	1.45	0.55
YUC61	Nal Tel	30	p	216.5	1.29	9.9	7.0	5.3	11.3	1.07	21.37	1.57	0.66
YUCGP2	Nal Tel	1200	p	201.5	1.27	9.4	7.1	4.2	14.2	1.09	26.75	1.53	0.74
MEX5	Palomero	2652	p	143.0	1.29	12.0	5.5	4.2	13.7	1.17	29.96	1.52	0.37
MEX210	Palomero	.	p	127.5	1.34	9.9	5.2	3.9	9.4	1.13	28.62	1.52	0.37
Medias				177.8	1.29	10.0	6.4	4.8	12.3	1.07	27.78	1.49	0.59
Exóticas Pre-Colombinas													
MEX7	Cacahuacintle	2652	a	460.0	1.07	12.6	11.1	6.6	4.5	1.14	28.36	1.53	0.56
VER383	Cacahuacintle		a	379.0	1.13	14.5	7.2	5.1	8.9	1.13	26.49	1.57	0.51
NAY29	Elotes occidentales	100	a	431.5	1.19	9.8	11.8	5.3	8.2	1.17	40.62	1.29	0.63
JAL77	Elotes occidentales	1372	b	418.5	1.10	8.8	11.6	6.3	6.7	1.12	34.64	1.42	0.46
JAL16	Harinoso de ocho	1640	t,a	385.0	1.20	11.0	10.4	5.1	12.3	1.14	18.74	1.74	0.49
SIN7	Harinoso de ocho	75	t,a	289.5	1.08	10.3	9.6	4.4	16.6	1.35	37.31	1.47	0.38
JAL78	Maíz dulce	1890	q	244.0	1.13	9.9	8.4	5.6	13.0	1.00	36.76	1.29	0.54
MICH412	Maíz dulce	1740	q	178.5	1.11	9.1	6.8	4.9	4.5	0.99	36.91	1.26	0.42
Medias				348.3	1.13	10.7	9.6	5.4	9.4	1.13	32.48	1.44	0.50
Modernas Incipientes													
GTO88	Celaya	1767	b	368.5	1.29	11.9	7.9	5.1	17.6	1.07	26.49	1.57	0.50
GTO84	Celaya	1800	b	342.5	1.23	10.2	9.4	5.1	9.7	1.01	25.62	1.50	0.76
PUE101	Chalqueño	2103	b	299.0	1.23	12.8	7.8	5.2	11.3	0.98	36.15	1.26	0.32
QRO85	Cónico norteño	1900	b	310.0	1.23	15.4	7.2	4.5	11.4	1.14	37.67	1.33	0.96
HGO83	Cónico norteño	2025	b	176.5	1.13	12.3	6.0	3.8	13.1	1.14	36.94	1.35	0.43
AGS14	Cónico norteño	2130	b	277.0	1.17	14.0	6.5	4.9	14.1	1.15	29.02	1.52	0.52
Medias				295.6	1.21	12.8	7.5	4.8	12.9	1.08	31.98	1.42	0.58

[†]Clasificadas con base en distancias euclidianas (Figueroa, 1985), al usar como referencia lo descrito por Wellhausen *et al.* (1952), y Hernández (1972): a = atoles; b = botanas; t = tortillas; p = palomitas; q = pinoles; PMG = Peso de mil granos; GS = Gravedad específica; CAA = Capacidad de absorción de agua (^{††}L de agua /kg de harina); PP = Pérdida de peso; RT = Rendimiento de tortilla (^{†††}kg de tortillas/kg de harina instantánea); RC = Resistencia al corte de tortillas.

Cuadro 2. Características físicas de grano y variables de calidad de harinas y tortillas de accesiones de maíz del grupo racial Mestizas-Prehistóricas.

Accesión	Razas	Altitud (msnm)	Usos [†]	PMG (g)	GS	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Dureza (kg-f)	CAA ^{††}	PP (%)	RT ^{†††}	RC (kg-f)
CHIS38	Comiteco	2000	b	169.5	1.12	7.1	7.3	4.6	12.1	1.07	30.39	1.44	0.61
CHIS94	Comiteco	1800	b	233.5	1.21	10.5	9.3	4.7	12.8	1.05	26.60	1.50	0.72
MEX500	Cónico	2550	b	310.0	1.17	12.3	7.7	6.0	14.0	1.03	26.00	1.50	0.69
TLAX151	Cónico		b	309.8	1.24	13.6	6.4	4.3	16.2	1.04	21.77	1.60	0.59
PUEGP30	Cónico	2249	b	315.0	1.16	11.5	8.0	4.5	10.0	1.08	28.40	1.49	0.44
MICH119	Cónico		t	381.0	1.10	11.6	9.4	5.8	12.3	1.21	24.90	1.66	0.44
OAX382	Cónico	1250	b	246.5	1.30	10.5	8.2	5.1	9.3	1.09	27.19	1.52	0.53
MOR66	Cónico	1620	b	415.0	1.25	14.5	8.8	5.2	9.9	1.10	28.53	1.50	0.43
HGO88	Cónico	2275	b	255.5	1.12	13.1	7.9	4.7	11.9	1.31	39.27	1.41	0.36
MEX633	Cónico		b	457.5	1.22	16.2	8.3	5.3	15.8	0.99	39.13	1.21	0.40
MEX41	Cónico	2256	b	303.5	1.20	13.4	7.3	4.8	11.8	1.06	25.91	1.52	0.52
MOR66	Cónico	1620	b	405.0	1.22	14.2	9.7	4.9	10.9	1.10	42.00	1.22	0.52
NAY6	Jala	1098	t	347.5	1.16	13.1	9.6	4.3	7.0	1.14	36.50	1.29	0.52
JAL44	Jala	1402	b,t	508.5	1.17	11.7	11.6	5.5	9.2	1.24	34.38	1.47	0.32
CHIS440	Olotillo	600	t	375.0	1.21	11.3	11.2	5.4	7.1	1.12	24.50	1.60	0.51
CHIS71	Olotillo	500	t	377.5	1.17	11.9	11.7	4.3	10.7	1.14	24.95	1.61	0.41
NAY15	Reventador	100	p	133.5	1.45	8.2	6.6	3.8	8.5	1.07	41.68	1.18	0.61
SON184	Reventador		p	251.0	1.33	9.6	8.5	5.1	13.3	1.02	40.03	1.21	0.32
NAY193	Tablilla de ocho	1000	b	406.0	1.18	12.9	10.3	4.7	11.2	1.10	30.57	1.45	0.63
NAY266	Tablilla de ocho	1000	b	367.5	1.23	13.2	10.7	3.6	8.9	1.19	38.28	1.35	0.44
ZAC47	Tablilla	1950	a	303.0	1.13	11.9	8.7	4.1	13.7	1.33	36.45	1.48	0.52
JAL23	Tabloncillo		b	418.5	1.19	11.1	11.3	4.6	8.9	1.12	22.53	1.64	0.40
NAY271	Tabloncillo perla		b	378.0	1.21	10.0	9.9	5.2	14.2	1.07	39.39	1.25	0.46
CHIS29	Tehuá	1000	a	260.0	1.12	8.9	8.7	5.2	12.3	1.15	37.62	1.34	0.52
CHIS160	Tehuá	660	b	314.0	1.18	11.2	9.6	4.3	13.0	1.08	26.93	1.52	0.63
CHIS202	Tepecintle	55	t	314.0	1.23	10.0	9.8	4.5	14.0	1.21	23.91	1.68	0.50
COAH21	Tuxpeño norteño	1400	b	288.0	1.15	11.9	7.9	3.9	13.4	1.10	40.43	1.25	0.73
COAH69	Tuxpeño norteño	400	t	314.5	1.18	12.1	8.9	3.9	9.9	1.17	21.68	1.70	0.62
VER39	Tuxpeño	196	b	386.5	1.29	13.2	8.6	4.5	12.5	1.05	29.66	1.43	0.71
CHIS114	Vandéño	100	t	299.5	1.18	9.9	8.7	4.2	11.9	1.16	26.71	1.59	0.56
CHIS31	Vandéño	100	t,b	269.3	1.19	10.6	8.4	4.2	12.6	1.16	35.13	1.40	0.69
CHIS662	Zapalote chico	100	t,b	267.0	1.20	11.4	9.4	3.8	9.3	1.10	27.16	1.53	0.57
OAX81	Zapalote chico	120	t,b	204.5	1.16	10.0	9.2	5.4	8.7	1.18	28.18	1.57	0.48
CHIS224	Zapalote grande	100	b	284.0	1.17	9.9	9.2	4.2	8.0	1.14	27.07	1.56	0.59
CHIS104	Zapalote grande	100	b	260.5	1.20	10.9	8.2	5.0	11.4	1.07	27.41	1.50	0.50
Medias				316.5	1.20	11.5	9.0	4.7	11.4	1.12	31.10	1.46	0.54

[†]Clasificados con base en distancias euclidianas (Figueroa, 1985), al usar como referencia lo descrito por Wellhausen *et al.*, (1952), y Hernández (1972): a = atolles; b = botanas; t = tortillas; p = palomitas; q = pinoles; PMG = Peso de mil granos; GS = Gravedad específica; CAA = Capacidad de absorción de agua ("L de agua /kg de harina); PP = Pérdida de peso; RT = Rendimiento de tortilla (†††kg de tortillas/kg de harina instantánea); RC = Resistencia al corte de tortillas.

Cuadro 3. Características físicas de grano y variables de calidad de harinas y tortillas de maíz del grupo de Nuevas razas.

Accesión	Razas	Altitud (msnm)	Usos [†]	PMG (g)	GS	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Dureza (kg-f)	CAA ^{††}	PP (%)	RT ^{†††}	RC (kg-f)
CHIH38	Apachito	1800	p	295.0	1.12	8.8	8.5	6.9	13.5	1.09	40.87	1.24	0.55
CHIH292	Apachito		b	232.0	1.31	10.7	7.2	4.1	13.0	1.06	37.50	1.29	0.46
MEX53	Azul	2665	t,a	244.0	1.09	10.8	8.3	6.3	10.2	1.19	31.88	1.49	0.73
CHIH291	Blandito		b	304.5	1.24	12.1	8.0	3.8	13.2	1.17	36.30	1.38	0.46
SON125	Blando de Sonora	410	a	308.0	1.08	10.7	9.1	5.3	9.7	1.03	28.36	1.53	0.65
TAM16	Carmen	285	b	247.0	1.19	11.7	8.4	3.5	12.2	1.13	36.30	1.35	0.57
CAMP47	Clavillo		b	194.5	1.10	10.1	8.3	3.3	9.3	1.22	43.69	1.25	0.74
CHIS578	Clavillo	500	b	361.0	1.20	12.0	10.9	4.1	12.2	1.21	38.12	1.38	0.55
VER406	Coscomatepec		b	278.0	1.26	11.7	7.8	4.8	14.2	1.04	27.86	1.47	0.65
SON5	Cristalino de Chihuahua		t	347.0	1.26	10.6	10.0	4.9	13.5	1.39	21.02	1.89	0.28
CHIH165	Cristalino de Chihuahua	2400	b	322.5	1.05	10.5	9.9	5.6	9.6	1.10	39.31	1.28	0.42
CHIH174	Cristalino de Chihuahua	2500	a	353.0	1.11	10.5	9.5	6.2	8.7	1.17	38.24	1.34	0.31
JAL175	Complejo Serrano Jalisco	1643	b	259.5	1.22	10.9	8.4	4.9	13.5	1.20	37.46	1.38	0.36
SIN125	Dulce del Noroeste	150	q	199.0	1.11	9.8	7.7	3.9	7.5	0.91	31.31	1.31	0.40
QROO20	Dzit-Bacal	10	b	208.0	1.20	10.2	8.2	3.3	8.9	0.99	36.71	1.26	0.53
VER96	Dzit-Bacal	700	b	277.5	1.19	10.5	9.1	3.9	9.6	1.09	42.55	1.20	0.47
QRO44	Fasciado	1389	t	273.0	1.22	14.5	6.5	4.5	14.6	1.21	26.77	1.62	0.52
GTO124	Fasciado		t	295.5	1.18	13.1	7.8	4.1	13.5	1.19	26.15	1.62	0.40
SON109	Lady Finger	690	p	188.5	1.20	9.0	6.2	4.1	14.8	1.14	36.76	1.36	1.05
SON147	Lady Finger	420	p	138.5	1.24	8.7	6.7	3.7	13.2	1.27	43.55	1.28	0.65
CHIH14	Maizón	.	a	365.0	1.15	11.6	10.1	5.0	7.7	1.31	36.37	1.47	0.38
???	Maizón	1200	a	283.5	1.18	11.7	10.3	4.4	13.0	1.38	40.15	1.43	0.37
QRO12	Onaveño	2000	b	343.0	1.14	13.7	9.2	4.2	15.1	1.09	25.09	1.56	0.44
SON42	Onaveño		b	314.0	1.20	9.3	9.2	4.7	12.3	1.07	28.45	1.48	0.62
CHIH119	San Juan	1470	p	257.0	1.22	10.6	8.0	5.0	14.9	1.11	39.72	1.27	0.40
SIN75A	San Juan		p	274.5	1.22	10.8	7.7	3.7	13.5	1.01	40.30	1.20	0.72
DGO101	Tunicado	700	p	277.0	1.28	12.3	7.5	4.8	11.2	1.03	18.40	1.66	0.49
YUC67	Xmehenal	30	p	186.5	1.24	10.8	7.5	3.1	11.6	1.04	18.97	1.65	0.64
Medias				270.8	1.19	10.9	8.4	4.5	11.8	1.13	33.27	1.42	0.52

[†]Clasificados con base en distancias euclidianas (Figuerola, 1985), al usar como referencia lo descrito por Wellhausen *et al.*, (1952), y Hernández (1972): a = atoles; b = botanas; t = tortillas; p = palomitas; q = pinoles; PMG = Peso de mil granos; GS = Gravedad específica; CAA = Capacidad de absorción de agua (^{††}L de agua /kg de harina); PP = Pérdida de peso; RT = Rendimiento de tortilla (^{†††}kg de tortillas/kg de harina instantánea); RC = Resistencia al corte de tortillas.

También se encontraron correlaciones significativas ($P \leq 0.05$) entre caracteres de grano y entre caracteres de calidad tortillera como de la capacidad de absorción de agua con la gravedad específica ($P \leq 0.05$) y con el ancho del grano ($P \leq 0.01$), así como entre los caracteres de resistencia al corte y peso de mil granos, y ancho del grano ($P \leq 0.05$).

Además de la información correspondiente a la definición de grupos raciales en los Cuadro 1, 2 y 3 también se presenta la clasificación por sus usos en alimentos (Hernández, 1972; Ziegler, 2001) y la caracterización de las accesiones con base en los caracteres de grano y calidad tortillera.

Al analizar en conjunto las características del grano y de la calidad tortillera de las 86 accesiones a través de un análisis de componentes principales (ACP), que es un método para la reducción de dimensiones e interpretación con unas pocas nuevas variables (componentes principales), la variación total acumulada por las variables originales (Johnson y Wichern, 1992). Se encontró que dicha variación fue de 70 % para los primeros cuatro componentes principales. Los resultados del ACP correspondientes a los valores y vectores característicos se presentan en el Cuadro 4.

Para propósitos de interpretación y conveniencia se utilizaron los dos primeros componentes principales, los cuales explican en conjunto 45 % de la variación total acumulada en las 10 variables originales. Los valores más altos de los vectores característicos definen las características de los componentes principales y, por consiguiente, la asociación entre accesiones. De esta manera, el análisis e interpretación se realizó con base en los resultados del ACP (Cuadro 4), al considerar los grupos raciales (Figura 1) y la clasificación por los usos en alimentos (Figura 2).

La dispersión de los cinco grupos raciales obtenida con base en los dos primeros componentes se presenta en la Figura 1. Al considerar los vectores característicos del primer componente (características de grano) del Cuadro 4, se pueden identificar las accesiones de los grupos raciales con características distintivas. Por ejemplo, el grupo racial de las Indígenas Antiguas se distinguen por tener valores pequeños de peso de mil granos y ancho del grano, y alta gravedad específica, como las razas Arrocillo amarillo, Chapalote, Nal-Tel y Palomero; con características opuestas se identifican a las razas del grupo Exóticas Precolombinas como Cacahuacintle, Elotes Occidentales, Harinoso de ocho y Maíz Dulce, ubicadas al extremo derecho de la Figura 1. Las accesiones de las razas Moder-

nas como Celaya, Chalqueño y Cónico Norteño se localizaron en la parte central, por tener valores intermedios del primer componente principal.

Cuadro 4. Valores y vectores característicos de los primeros cuatro componentes principales de la evaluación de 86 accesiones de maíz.

Características	CP1	CP2	CP3	CP4
Peso de mil granos	0.54	-0.03	0.10	0.36
Gravedad específica	-0.32	0.25	0.12	0.15
Largo de grano	0.22	0.15	0.51	0.43
Ancho de grano	0.51	-0.16	-0.11	-0.05
Grosor de grano	0.25	-0.09	-0.41	0.42
Dureza de grano	-0.20	0.19	0.44	0.35
Capacidad de absorción de agua	0.24	-0.07	0.49	-0.44
Pérdida de peso	-0.12	-0.67	0.26	0.03
Rendimiento de tortilla	0.24	0.63	-0.04	-0.22
Resistencia al corte	-0.26	0.02	-0.18	0.35
Valores característicos	2.57	1.92	1.43	1.09
Prop. Varianza	0.26	0.19	0.14	0.11

* En negritas se marcan las variables originales más importantes en cada componente principal.

Los grupos raciales Mestizas Prehistóricas y razas Nuevas se encuentran distribuidas de manera amplia en la Figura 1, como resultado de la variación existente entre sus accesiones y de la combinación entre diferentes grupos raciales.

El segundo componente (características de calidad tortillera) está representado básicamente por la pérdida de peso y el rendimiento de tortilla, con asociación negativa entre ambos caracteres. La dispersión de los cinco grupos raciales con respecto a este segundo componente indica que las accesiones en estudio pueden ser diferenciadas por su calidad tortillera. Es decir, a pesar de la variación amplia entre los grupos raciales, estos grupos pueden ser identificados de manera general, mediante caracteres de grano y de calidad tortillera.

La Figura 2 presenta el análisis con referencia a la clasificación por el uso en alimentos. Con base en el primer componente (características de grano) (Cuadro 4), las accesiones que tienen uso en atoles y tortilla poseen características en común (Figura 2). En promedio, se caracterizan por tener valores altos de peso de mil granos, ancho del grano, altos valores de capacidad de absorción de agua de la harina, alto rendimiento de tortilla, así como baja pérdida de peso, baja resistencia al corte de la tortilla y valores bajos de gravedad específica. La capacidad de absorción de agua está relacionada con la dureza del endospermo, pues en el endospermo duro los gránulos de almidón se agrupan en una red proteínica que restringe la absorción de agua (Salinas *et al.*, 1992). Los maíces con alta capacidad de absorción de agua muestran un alto rendimiento de masa; sin embargo, para obtener un alto rendimiento de tortilla se requiere que el agua absorbida sea retenida durante la cocción y que haya una baja pérdida de peso.

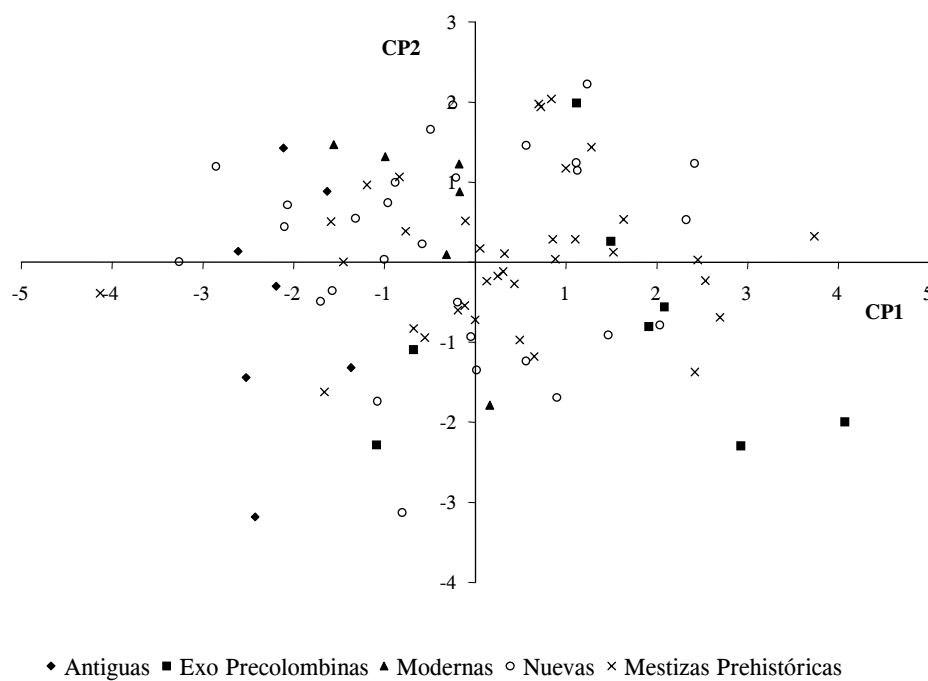


Figura 1. Dispersión de 86 accesiones de maíz identificados por gripos raciales con base en los dos primeros componentes principales.

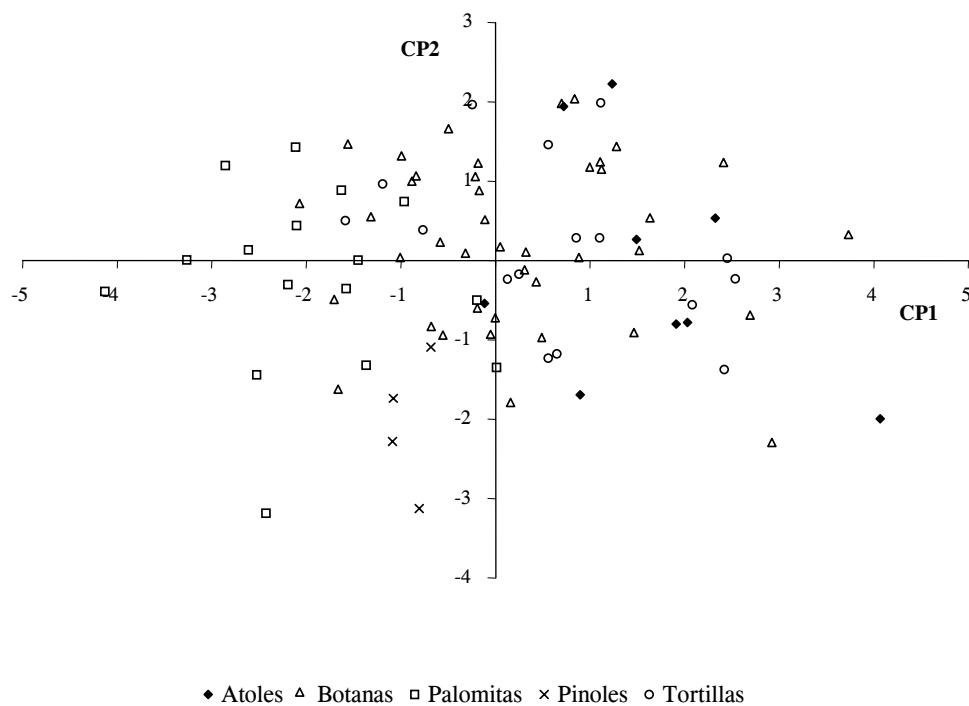


Figura 2. Dispersión de 86 accesiones de maíz identificados por sus usos en alimentos con base en los dos primeros componentes principales.

Es conveniente que los maíces que se emplean para la fabricación de tortillas muestren estas características. Por el contrario, para los maíces palomeros es conveniente una baja capacidad de absorción de agua y alta pérdida de peso; este es el caso de las accesiones con alta gravedad específica y granos pequeños.

El segundo componente (calidad tortillera) clasifica a las accesiones por sus características de pérdida de peso y rendimiento de tortilla (Cuadro 4). Las accesiones con altas de pérdidas de peso y bajos rendimientos de tortilla son aquéllas identificadas para preparar pinos, que en gravedad específica y peso de mil granos presentan valores intermedios. Los materiales identificados para botanas se encuentran distribuidos a lo largo y ancho de la Figura 2, lo que indica la amplia variación racial utilizada para este fin. El peso de mil granos es un indicador del tamaño y la densidad del grano, característica importante para los productores de harina porque estos granos contienen mayor proporción de endospermo que los pequeños, de modo que rinden más harina (Freeman, 1973). La densidad del grano está relacionada con su dureza, susceptibilidad a la ruptura y a la molienda, velocidad de secado y resistencia al desarrollo de hongos (Chang, 1988). Los granos con endospermo duro expresan una alta temperatura de gelatinización y requieren de un largo tiempo de cocción; son poco apropiados para la producción de tortillas elaboradas mediante el proceso tradicional (masa de maíz nixtamalizado), pero resultan excelentes para la fabricación de harinas instantáneas (Martínez *et al.*, 1997), cereales para desayuno obtenidos por molienda seca y botanas (Sahai *et al.*, 2000). La exploración de las características de las accesiones, con base en la clasificación racial y los usos en alimentos, permite hacer una distinción entre razas y, por consiguiente, son útiles para la discriminación y clasificación de accesiones.

La descripción de la asociación entre accesiones, basada en las características de los grupos raciales (Figura 1) y la clasificación por uso en alimentos (Figura 2), indica que la variación significativa en los caracteres de grano y calidad tortillera permitiría su uso para discriminar accesiones. El análisis multivariado mostró que hay variación entre y dentro de grupos de accesiones, aún cuando no está claramente definido un patrón de relación entre los materiales genéticos utilizados.

CONCLUSIONES

Las características de grano y de calidad tortillera permiten discriminar las accesiones de maíz entre y dentro de grupos raciales. Los granos para producir atoles se caracterizan por tener mayor tamaño, menor dureza y gravedad

específica en tanto que los granos para tortillas, tienen valores intermedios de las características evaluadas. Los granos para pinos se caracterizan por ser cortos, anchos y gruesos, de baja dureza y gravedad específica. Los granos palomeros son los de mayor gravedad específica, pequeños y duros. Los granos empleados para botanas son los granos más largos y duros. Las características de mayor definición, respecto al producto alimenticio obtenido, son la dureza del grano, la pérdida de peso y capacidad de absorción de agua, porque se observan valores altos de capacidad de absorción de agua en los maíces para la producción de tortillas y atoles, menores en los destinados a botanas y aún menores en los maíces para palomitas y pinos. Se puede concluir que las características estudiadas se relacionan con el uso alimenticio al cual se destinan los granos, y que pueden ser útiles para definir la calidad industrial del grano respecto al producto que se desee elaborar.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el financiamiento otorgado al proyecto R-34503-B para realizar la presente investigación, y a las siguientes personas por su apoyo técnico: Dr. Eduardo Morales Sánchez, Q.F.B. Marcela Gaytán Martínez, y M.C. María Elena Hernández García, así como al Dr. Eduardo Castaño y al Dr. Carlos Regalado González por sus comentarios al presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Arámbula V G, R A Mauricio, J D Figueroa C, J González-Hernández, F C Ordorica A (1999) Corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *J. Food Sci.* 64(1):120-124.
- Chang C S (1988) Measuring density and porosity of grain kernels using a gas pycnometer. *Cereal Chem.* 65(1):13-15.
- Figueroa C J D (1985). Métodos para Evaluar la Calidad Maltera de Cebada. Tema Didáctico Núm. 17. SARH-INIA. México, D.F. 115 p.
- Figueroa C J D, R Aguilar (1997) El origen del maíz. *Avance y Perspectiva* 16:91-98.
- Figueroa C J D, F Martínez, E Ríos (1995) Effect of sorghum endosperm type on the quality of adjuncts for the brewing industry. *J. Amer. Soc. Brew. Chem.* 53(1):5-9.
- Figueroa C J D, M G Acero-Godínez, N L Vasco-Méndez, A Lozano-Guzmán, L M Flores-Acosta, J González-Hernández (2001) Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Arch. Latinoam. Nutrición* 51(3):293-302.
- Freeman J E (1973) Quality factors affecting value of corn for wet milling. *Trans. ASAE* 16:671.
- Goodman M N, L W Brown (1988) Races of corn. In: G F Sprague, JW Dudley (eds). *Corn and Corn Improvement*. ASA Monograph 18. ASA, Madison, Wisconsin. pp:33-79.
- Hernández X E, G Alanís (1970) Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones fitogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 1:3-30.
- Hernández X E (1972) Consumo humano de maíz y el aprovechamiento de tipo con alto valor nutritivo. In: *Simpósio sobre Desarrollo y Utilización de Maíces con Alto Valor Nutritivo*. Colegio de Pos-

- graduados, E.N.A. Chapingo, México. Centro Médico Nacional del IMSS- México D.F. Junio 29 y 30 de 1972. pp:149-156.
- Johnson R A, D W Wichern (1992)** Applied Multivariate Statistical Analysis. Third edition. Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 642 p.
- Kato Y A, B McClintock (1981)** The chromosome constitution of races of maize in north and middle america. Part Two. *In*: Chromosome Constitution of Races of Maize. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp:9-67.
- Ng K Y, L M Pollak, S A Duvick, P J, White 1997.** Thermal properties of starch from 62 exotic maize (*Zea mays L.*) lines grown in two locations. *Cereal Chem.* 74(6):837-841.
- Martínez-Flores H E, F Martínez-Bustos, J D Figueroa C, J González-Hernández (1997)** Tortillas from extruded masa as related to corn genotype and milling process. *J. Food Sci.* 62(6): 1-4.
- Randolph L S (1952)** New evidence of the origin of maize. *Amer. Nature* 86:193-202.
- Sahai D, I Surjewan, J P Mua, M O Buendia, M Rowe, D S Jackson (2000)** Dry matter loss during nixtamalization of a white corn hybrid: impact of processing parameters. *Cereal Chem.* 77(2):254-258.
- Salinas M Y, F Martínez, H J Gómez (1992)** Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays L.*). *Arch. Latinoam. Nutrición* 42(1):59-63.
- SAS (1989)** SAS User's Guide Version 6 Fourth edition Volumen 2. SAS Institute Inc: Cary, NC. 846 p.
- Vázquez C M G, S A R Márquez, S F Márquez (1990)** Evaluación física, química y tortillera del compuesto Pepitilla de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 13:1-16.
- Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernández-X, and P C Mangelsdorf (1952)** Races of Maize in Mexico: Their Origin, Characteristics and Distribution. The Bussey Institution of Harvard University. 223 p.
- Ziegler, K E (2001)** Popcorn. *In*: Specialty Corns. A R Hallauer (ed). Second Ed. CRC Press USA. pp:199-234.