

DIVERSIDAD FENOTÍPICA Y VARIANTES DISTINTIVAS DE LA RAZA JALA DE MAÍZ*

PHENOTYPIC DIVERSITY AND DISTINCTIVE COMPONENTS IN THE JALA RACE OF MAIZE

Juan Apolinar Aguilar-Castillo^{1§}, Aquiles Carballo-Carballo¹, Fernando Castillo-González¹, Amalio Santacruz-Varela¹, José Apolinar Mejía-Contreras¹, José Crossa-Hiriartte² y Gustavo Baca-Castillo³

¹Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km 38.5 carretera México-Texcoco. 56230 Montecillo, Estado de México, México.
²Unidad de Biometría y Estadística, Centro Internacional del Mejoramiento de Maíz y Trigo. ³Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. [§]Autor para correspondencia: jaguilar@colpos.mx

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue determinar la diversidad fenotípica de la raza Jala de maíz (*Zea mays* L.) e identificar las variantes, que la hacen distinta, con base en múltiples características morfológicas. Se utilizó una población compuesta de accesiones recientes y antiguas de esta raza, denominada "Jala recuperado", la cual se mantuvo mediante el esquema de selección de medios hermanos. El 21 de abril de 2004 se sembraron 252 familias provenientes de la población "Jala recuperado", en Montecillo, Estado de México; y el 28 de abril del mismo año en Jala, Nayarit. En ambas localidades la densidad de población fue de 30 000 plantas/ha y 25 plantas por surco. La dosis de fertilización en Montecillo, Estado de México, fue de 100-50-50 (N-P-K), aplicada en sistema de fertirriego, en tanto que en Jala, el maíz se manejó con el sistema tradicional del agricultor. La población mostró una amplia diversidad fenotípica distribuida en cinco grupos en la localidad de Montecillo y en seis en la de Jala, los que fueron más divergentes en esta última localidad, aunque la similitud entre ellos sugiere una base genética común. Las características de la mazorca: longitud y diámetro, diámetro del olote y largo de la semilla, permitieron describir razonablemente la diversidad en los dos ambientes, aunque en Jala, la altura de mazorca y el

diámetro de pedúnculo contribuyeron a lograr una mejor diferenciación entre los grupos; la variación observada es un continuo de las características típicas descritas para la raza Jala; sin embargo, se observaron dos tipos de grano, uno dentado y otro puntiagudo. La diversidad actual ha sido influida por el constante flujo genético entre poblaciones de la raza Jala y por las restricciones de humedad y nutrimentos a los que se ha sometido este maíz en su proceso evolutivo.

Palabras claves. *Zea mays* L., características morfológicas, familias.

ABSTRACT

The main objectives of this study were to determine the phenotypic diversity in the Jala race of maize (*Zea mays* L.) and to identify the components that distinguish it, on the basis of multiple morphological characteristics. A composite population made up of recent and old accessions of this race, named 'recovered Jala' was utilized; it was maintained through the half-sibs mating scheme. 252 families of recovered Jala were sown on April 21, 2004 at Montecillo, State of Mexico and in Jala, Nayarit on April 28. In both locations plant stand was 30 000 plants/ha with

* Recibido: Julio de 2005
Aceptado: Marzo de 2006

25 plants per row. Fertilization rate was 100-50-50 (N-P-K) applied through drip irrigation in Montecillo, whereas in Jala the crop was conducted in the traditional farmer way without agrochemicals. The population displayed wide phenotypic diversity that was distributed in five groups at Montecillo and in six groups at Jala, showing larger divergence among groups in the later site, although the similitude among groups suggested a common genetic base. Ear characteristics, such as length and diameter, cob diameter and seed length allowed for a reasonable description of the diversity observed in both environments, although at Jala, Nayarit, ear height and shank diameter contributed for an accurate differentiation among groups, and the observed variation was a continuum of the typical characteristics of the race Jala. Nevertheless, two types of kernels could be differentiated, a dent and a pointed one. The diversity present in the race Jala has been originated by the constant gene flow among populations and the environmental influences characterized by low moisture and nutrients availability to which this maize has been subjected throughout its evolutionary process.

Keys word: *Zea mays* L., families, morphological characteristics.

INTRODUCCIÓN

Los estudios de la enorme diversidad racial de maíz (*Zea mays* L.) en México están orientados a conocerla, ampliarla o precisarla. Hasta ahora, el estudio más destacado por su trabajo de exploración y recolección es el realizado por Wellhausen *et al.* (1951), quienes describieron 25 razas de maíz a partir de su caracterización y distribución geográfica, cuya denominación se tomó de los nombres regionales de recolección. Su clasificación se basó en la morfología de la mazorca y del grano señalada por Anderson y Cutler (1942), y se complementó con características de tipo fenológico, estructuras de la planta y frecuencia diferencial de nudos cromosómicos. Otros estudios están basados en esta clasificación racial, la cual se ha reafirmado con diferentes formas de caracterización.

No obstante lo anterior, se ha documentado poco la variación dentro de una región ecológica o grupo racial, aunque destacan los trabajos en maíces “tuxpeños” (Caballero y Cervantes, 1990), “cónicos” (Silva, 1992),

“chalqueños” (Herrera *et al.*, 2000; Romero *et al.*, 2002; Herrera *et al.*, 2004), “Jala” (López *et al.*, 1995; Rice, 2004), “península de Yucatán” (Camacho y Chávez, 2004; Burgos *et al.*, 2004), “bolita” y “zapalote chico” (Aragon-Cuevas *et al.*, 2005), entre otros. Estos trabajos se han orientado a la comprensión del parentesco en las poblaciones nativas de una zona determinada, así como a conocer la diversidad actual de poblaciones en peligro de extinción o en constante erosión genética; también se han enfocado a determinar la dinámica de la diversidad genética en complejo racial o nicho ecológico y a entender porqué se forman nuevas variantes de una raza.

Actualmente, la raza Jala de maíz se limita sólo al Valle de Jala en Nayarit, México y a una superficie no mayor de 30 ha, lo cual permite conocer los cambios genéticos y fenotípicos durante períodos cortos en una sola área geográfica, de manera que se han comparado accesiones de diferentes períodos por la presencia de nudos cromosómicos (López *et al.*, 1995) y frecuencia alélica por microsatélites (Rice, 2004). Estos investigadores observaron que las poblaciones recolectadas recientemente mostraron mayor diversidad que las obtenidas hace 60 años, hecho que puede atribuirse a muestreos diferentes.

Es un hecho que la característica principal de la raza Jala es la gran longitud de la mazorca, pero no aparece frecuentemente, por lo cual los agricultores locales y los fitomejoradores la consideran en peligro de extinción. De allí la necesidad de recuperar y conservar esta característica, con fines de aprovechamiento y protección *in situ* y *ex situ*, y el desarrollo de nuevas estrategias de estudio y manejo de la diversidad de una raza de maíz, basadas en sus peculiaridades. Al respecto, Hintum *et al.* (2002) mencionan las circunstancias y consideraciones de la variación para formar nuevas accesiones a partir de colectas originales, e investigaciones en cebada (Allard, 1988; Ibrahim y Barrett, 2001; Vetelainen y Nissila, 2001), trigo (Goldringer *et al.*, 2001) y betabel (Frese, 2002) han dado buenos resultados. Los objetivos del presente estudio fueron: a) Conocer cómo se distribuye la diversidad morfológica de un compuesto de maíz formado con accesiones recientes y antiguas de la raza Jala, para orientar la recuperación y conservación de sus características, y b) Seleccionar las variantes que representen al fenotipo denominado “maíz de húmedo”, con base en múltiples características morfológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en las siguientes etapas: 1) se recolectaron 14 poblaciones en Jala, Nayarit, México, y se evaluaron en 1999, junto con 20 accesiones provenientes del banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). A la cosecha se invitó a los productores de mayor edad, para la selección de mazorcas con base en la descripción fenotípica de su variedad (mazorcas largas, con 12 hileras en promedio y con grano dentado, amarillo-cremoso, tamaño grande y harinoso) a la que ellos llaman “maíz de húmedo”. La semilla de esta selección se integró en un compuesto que se le denominó “Jala recuperado”, de acuerdo con los criterios descritos por Hintum *et al.* (2002), con el fin de formar nuevas accesiones a partir de colectas originales, como una estrategia de conservación para incrementar genes en frecuencias bajas, que se perderían si la regeneración de las accesiones se realizara independientemente (Lawrence *et al.*, 1995).

2) El compuesto se recombinó en el año 2000 en la localidad de Jala, Nayarit y, en el 2003, en Montecillo, conforme al esquema de selección masal descrito por Márquez, (1985). En cada ciclo de recombinación, la selección de mazorcas se realizó con base en el fenotipo denominado localmente “maíz de húmedo”. Como una actividad prioritaria del Plan Global de Acción para la Conservación de la Diversidad, se utilizó el ambiente de Montecillo, Estado de México, con la finalidad de definir un ambiente *ex situ* para una raza de maíz en peligro de extinción, en casos de desastres naturales y alta erosión genética (Cooper *et al.*, 1998).

3) Para evaluar la diversidad morfológica de la raza Jala, a través de la metapoblación formada, e identificar las familias más representativas del “maíz de húmedo”, en el año 2003 se seleccionaron 252 mazorcas en la localidad de Montecillo, Estado de México, y el 21 de abril de 2004 se sembraron como familias de medios hermanos en la misma localidad, donde el clima del sitio es C (wo) (w) b(i'), con altitud de 2250 msnm, temperatura media anual de 15.1 °C y precipitación pluvial total anual entre 600 y 650 mm (Estación Agroclimatológica del Colegio de Postgraduados). En Jala, Nayarit, se sembró el 28 de abril del mismo año, el clima es Awo (w) (e), con temperatura media anual de 23.2 °C y precipitación pluvial de 837.4

mm, cuyo sitio experimental se localizó a una altitud de 1090 msnm.

En ambas localidades cada familia se sembró en un solo surco con 25 plantas, a una densidad de población de 30 000 plantas/ha. La dosis de fertilización en Montecillo fue de 100-50-50 kg ha⁻¹ (N-P-K), aplicada con el sistema de fertirriego, distribuida de acuerdo con las curvas de absorción publicadas por Ritchie y Hanway (1984). En tanto que en Jala, el experimento se manejó con el sistema de la Asociación de Agricultores de la raza Jala, donde se aplicó un poco de fertilizante orgánico de origen local y la maleza se eliminó antes de la floración del maíz. Como referencia a este comportamiento, en Jala se hizo un análisis del suelo del sitio experimental, para conocer el nivel de fertilidad del mismo, cuyos contenidos fueron: N, 0.071% (bajo); P, 62 ppm (alto) y K, 148 ppm (bajo), un contenido bajo de materia orgánica (1.9%) y una capacidad de intercambio catiónico de 3.23 meq/100 g (baja). La textura es arenosa-francosa, con 79% de arena y 4.6% de arcilla, y un pH de 5.7 (ligeramente ácido). Con base en estos datos, puede considerarse un suelo pobre, con baja capacidad de retención de humedad y bajo contenido de nutrimentos (Castellanos *et al.*, 2000).

Las variables evaluadas y registradas de acuerdo con el manual gráfico del SNICS-CP (2001) fueron: altura de mazorca (AM), número de nudos por abajo de la mazorca principal (NN), diámetro de tallo (DT), longitud de pedúnculo (LP), longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), número de hileras de la mazorca (NH), número de granos por hilera (NG), tipo de grano (TG); en tanto que el diámetro de pedúnculo (DP), diámetro de olote (DO), ancho de semilla (AS), espesor de semilla (ES) y longitud de semilla (LS), se midieron de acuerdo con la metodología seguida por Wellhausen *et al.* (1951). En Montecillo, en cada familia se marcaron nueve plantas aleatoriamente y en Jala sólo se tomaron cuatro, debido a una alta incidencia de enfermedades en el tallo y mazorca.

Para evaluar harina en el endospermo (HA), se colocaron doce granos de la parte central de cada mazorca cosechada sobre un vidrio esmerilado, donde se hizo pasar luz fluorescente. Los granos se calificaron de acuerdo con la cantidad de luz que pasó a través del endospermo, en una escala de 1 a 9, donde uno fue para granos sin presencia

de harina y nueve para los granos completamente harinosos y opacos a la luz. En el experimento de Jala no se registraron los datos de espesor de semilla y harina en endospermo.

La información se analizó por localidad, por tratarse de un estudio de recuperación y conservación de variantes que le confieren identidad a una raza de maíz; por tanto, se utilizó una estrategia estadística basada en un análisis de conglomerados realizado mediante el método de agrupación de mínima varianza de Ward, en el cual los grupos se seleccionaron con la prueba de pseudo- t^2 significativa; posteriormente, se utilizó la misma matriz de datos y se le adicionó el grupo en el que se incluyó cada familia; enseguida se compararon los grupos entre sí, con un análisis discriminante canónico (SAS Institute, 2000), el cual utiliza la distancia cuadrada de Mahalanobis (D^2) para valorar los grupos y determinar la importancia de las variables en su clasificación (Franco *et al.*, 1997; Crossa y Franco, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de agrupamiento produjo cinco y seis grupos en las localidades de Montecillo y Jala, respectivamente, lo cual demuestra la extensa variación fenotípica de la raza Jala. Para explicar tal diversidad, se compararon los promedios de cada grupo de algunas variables con las reportadas por Wellhausen *et al.* (1951).

De esta forma, en el Cuadro 1 puede observarse que en los dos ambientes los valores de los diferentes grupos fueron menores para la mayoría de las variables estudiadas; por ejemplo, el grupo tres de Montecillo, que agrupó a las familias con mayor longitud de mazorca, los valores de DP, LM, DM y LS fueron menores en 43, 21, 11 y 32%, respectivamente; en tanto, en Jala, para estas mismas variables y orden mencionado, el grupo seis presentó valores menores en 34, 20, 11 y 26%; sin embargo, el DO fue ligeramente mayor hasta en 19% en Montecillo y 13% en Jala. El AS no ha cambiado con respecto al

Cuadro 1. Medias para caracteres de mazorca y de semilla en los grupos de Montecillo, Estado de México y Jala, Nayarit, en 2004, vs. Wellhausen *et al.* (1951).

Localidad	Grupo	Familias	LM (cm)	DP	DM	DO (mm)	AS	LS	NH (Núm.)
Montecillo	1	54	21.87	19.14	50.96	31.65	11.17	9.65	12.11
	2	36	21.74	19.03	49.82	31.97	10.50	8.93	12.39
	3	43	24.06	19.51	52.43	33.23	10.75	9.60	13.09
	4	69	21.11	19.61	52.45	32.52	10.99	9.96	12.72
	5	50	21.92	21.26	54.32	33.92	10.95	10.20	13.41
Jala	1	24	18.09	20.32	47.39	31.00	10.87	8.19	11.41
	2	45	18.80	17.94	45.25	28.91	10.25	8.17	12.06
	3	34	21.02	20.15	49.48	28.24	11.24	10.62	11.42
	4	31	20.71	21.38	49.72	31.52	10.59	9.10	12.85
	5	38	20.88	19.02	50.28	31.25	10.48	9.52	13.06
	6	39	24.33	22.47	52.73	31.71	10.98	10.51	12.76
Wellhausen <i>et al.</i> (1951)		3	34.50	30.50	59.00	28.00	10.90	14.20	14.70

LM= Longitud de mazorca; DP= Diámetro de pedúnculo; DM= Diámetro de mazorca; DO= Diámetro de olote; AS= Ancho de semilla; LS= Longitud de semilla; NH= Número de hileras; *Grupos conformados con el método de Agrupación de Mínima Varianza de Ward (Franco *et al.*, 1997; Crossa y Franco, 2004).

reportado en 1951, por lo que podría ser la variable más importante que los agricultores han utilizado para tratar de mantener la identidad de un maíz (Louette *et al.*, 1997; Louette y Smale, 2000).

Es un hecho que las accesiones típicas descritas por Wellhausen *et al.* (1951), no reflejan la diversidad de la raza Jala; sin embargo, permiten ubicar la situación de las plantas con mazorcas de más de 30 cm de largo en la metapoblación, las cuales se presentaron con una frecuencia menor a 1%. Este resultado puede deberse al flujo genético entre el maíz Jala y otros maíces que convergen en la región, como lo señaló Wellhausen (1966), al mencionar que híbridos producto de la cruce natural o inducida por los agricultores, entre el maíz Jala y la raza Tuxpeño, desplazaron al maíz Jala. A este respecto, Rice (2004) comprobó que con el uso de microsatélites, las poblaciones actuales de la raza Jala presentaron alelos de la variedad “Tampiqueño”, introducida en la década de 1950, y alelos de un híbrido comercial de maíz sembrado a partir de la década de 1970. Posiblemente, la recombinación constante y consistente ha llevado a cambiar o ampliar algunas características fenotípicas de la planta (Johannessen *et al.*, 1970), junto con la presión del ambiente y del hombre (Hernández, 1972), entre otros factores propios de la evolución.

Por su parte, Rice (2004) señala que la estabilidad alélica dada a través del tiempo permite suponer conservación *in situ* de alelos típicos de la raza Jala, a pesar del constante flujo genético. Sin embargo, la erosión podría incrementar la tasa de extinción de plantas típicas (Stockwell *et al.*, 2003), como las que describieron Wellhausen *et al.* (1951). De seguirse sembrando nuevas variedades en el

Valle de Jala, podrían introducir alelos desfavorables, que originarían problemas fitosanitarios y afectarían en su totalidad a este maíz, como en el año de 2002, cuando una enfermedad foliar causada por *Cercospora maydis* destruyó gran parte de las siembras del “maíz de húmedo”, la cual no tenía antecedentes en la región; además de pudriciones en tallo y mazorca, causados por *Fusarium*, que es endémico y cuya incidencia se ha incrementado en los últimos años.

De acuerdo con la prueba de significancia entre las distancias de Mahalanobis, calculadas por el análisis discriminante canónico (Cuadro 2), todos los grupos de ambas localidades fueron diferentes a una $p<0.0001$; sin embargo, las distancias entre pares de grupos en algunos casos fueron cercanas a cero, lo que indica similitud entre ellos. En Jala, Nayarit, las distancias D^2 fueron entre 7.7 y 22.9, y en Montecillo, Estado de México, oscilaron entre 4.4 y 13.7. La formación de seis grupos y las diferencias en las distancias de Mahalanobis observadas en Jala, permiten suponer que fueron consecuencia de la pobre fertilidad del suelo, ya que hay una asociación entre la heterogeneidad del ambiente con la diversidad genética (Linhart y Grant, 1996); y en un ambiente controlado, como fue el caso de Montecillo, podrían servir para mantener la diversidad existente en la población, ya que los grupos fueron muy similares con relación al tamaño de mazorca (Cuadro 1), posiblemente la interacción de los genotipos con este tipo de ambiente fue menor, tal como lo observó Frey (1964).

Las distancias relativamente pequeñas entre los grupos de ambas localidades sugieren una base genética común, posiblemente porque este maíz ha evolucionado

Cuadro 2. Distancias de Mahalanobis entre pares de grupos en Jala, Nayarit y Montecillo, Estado de México. 2004.

Grupo ¹	1	2	3	4	5	6
1	0	6.5038	8.2815	5.51901	10.8785	.
2	7.7054	0	10.2020	5.79286	13.7686	.
3	15.7622	9.12809	0	8.7166	6.7351	.
4	11.7789	8.46898	8.6980	0	4.4471	.
5	8.3827	9.91571	14.3680	8.5459	0	.
6	21.3166	22.9554	12.6947	9.1259	10.4128	0

¹ Grupos conformados con el método de Agrupación de Mínima Varianza de Ward (Franco *et al.*, 1997; Crossa y Franco, 2004); Valores arriba de la diagonal ceros pertenecen a Montecillo, Estado de México y los de la parte inferior, a Jala, Nayarit.

exclusivamente en el Valle de Jala, donde el intercambio de semilla es limitado y local, y porque los criterios de selección de semilla entre los agricultores participantes fueron similares, ya que se eliminó la mayoría de las accesiones provenientes del CIMMYT, por no representar al “maíz de húmedo” que manejan en sus parcelas; posiblemente debido a que la mayoría de las accesiones utilizadas en este estudio provinieron de recolecciones posteriores a los años de 1950 y, porque se favoreció la presencia de alelos de otras variedades al muestreo, así como en el posterior incremento de semilla.

Por otra parte, los usos tradicionales de la raza Jala no han cambiado a través de generaciones. Aún se sigue utilizando sólo para elote, pozole, gorditas de horno, panes locales, y en menor escala se emplean las hojas de las mazorcas para tamales en la industria local, por tener pocas brácteas y ser de gran tamaño. Tal vez, la carencia de diversificación en los usos de este maíz ha permitido conservar alelos en común entre las poblaciones actuales y las recolectadas en la década de 1940 y años posteriores, como lo identificó Rice (2004) con el uso de microsatélites, quien menciona la similitud genética en las poblaciones actuales de la raza Jala que manejan los agricultores locales. Un resultado similar se observó en los sistemas tradicionales de Valles Centrales de Oaxaca, donde los caracteres morfológicos como tamaño de mazorca, color de grano o período de floración, varían dependiendo del manejo que le da cada agricultor, pero a nivel de genoma, los marcadores genéticos utilizados fueron similares entre las poblaciones de maíz de una misma localidad (Pressoir y Berthaud, 2004a y 2004b).

La variación de los caracteres originales quedó explicada por las dos primeras variables canónicas, con 78% en Jala y 77% en Montecillo. En el Cuadro 3, se presentan los coeficientes canónicos de la estructura canónica entre grupos; puede destacarse que en ambas localidades las características de las mazorcas fueron las de mayor magnitud para separar las familias; en este sentido, Herrera *et al.* (2000) diferenciaron las recolecciones de la raza Chalqueño, y Aragon-Cuevas *et al.* (2005) hicieron los de la raza Bolita. En la localidad de Jala, la altura de mazorca tuvo mayor influencia en la separación de grupos que en Montecillo, posiblemente por la baja fertilidad y escasa humedad del sitio experimental.

La dispersión de los grupos en Jala, presentada en la Figura 1, muestra que el Grupo seis (G6) quedó básicamente definido por familias con mayor LM, DM y DP, y por LS, pero con una AM intermedia; en cambio, los Grupos uno (G1) y dos (G2) con ubicación contraria, fueron los de menor longitud y diámetro de mazorca; así como en DP y LS. Los Grupos tres (G3) y cinco (G5) se definieron básicamente por el tamaño de la planta, ya que el G3 fue el grupo con la mayor AM, sin embargo el tamaño de ésta tendió a ser semejante entre ellos. El Grupo cuatro (G4) se ubicó en el centro de la figura, por tener más características intermedias, comparadas con los otros grupos formados.

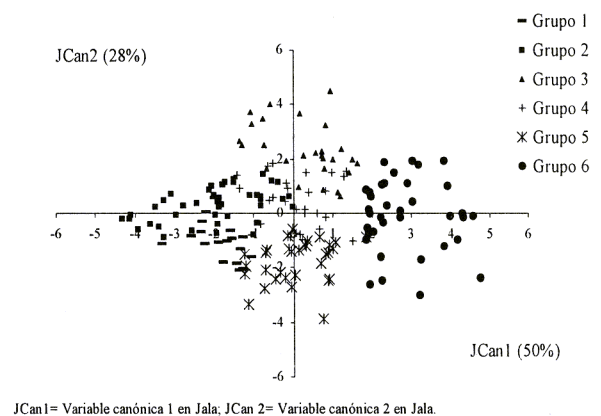


Figura 1. Dispersión de los grupos de familias formados con base en las dos primeras variables canónicas, en Jala, Nayarit. 2004.

En Montecillo, el grupo de familias con mayor LM y NG fue el G3 (Figura 2), el cual quedó ubicado básicamente en el cuadrante superior derecho, definido también por presentar valores intermedios de DM, DO y LS, en tanto que el G5 se caracterizó por tener mayores DM, DO y LS. El G4 quedó formado por familias dispersas en los cuadrantes inferior derecho e izquierdo, es decir, cercanos al promedio de DM, DO y LS, pero con familias de menor LM. Por su parte, el G2 agrupó materiales con menor DM, DO y LS, pero con tamaño intermedio LM; finalmente, el G1 se ubicó en el cuadrante superior izquierdo, caracterizado por tener familias con menores DM, DO y LS, pero con una LM intermedia.

Cuadro 3. Valores y vectores característicos de las dos primeras variables canónicas en las familias de medios hermanos de la raza Jala de maíz evaluadas en Jala, Nayarit y Montecillo, Estado de México. 2004.

Variable original	JCan1	JCan2	MCan1	MCan2
Altura de mazorca (AM)	-0.011	0.813*	0.051	-0.640
Diámetro de tallo (DT)	0.418	0.633	0.541	0.160
Número de nudos por abajo de la mazorca (NN)	-0.256	0.715*	0.270	-0.659
Longitud del pedúnculo de la mazorca (LP)	0.575	-0.253	0.811*	-0.409
Diámetro del pedúnculo de la mazorca (DP)	0.845*	0.083	0.891*	-0.227
Longitud de mazorca (LM)	0.977*	0.096	0.255	0.949*
Número de hileras en la mazorca (NH)	0.459	-0.534	0.940*	0.067
Número de granos por hilera (NG)	0.908*	0.177	0.536	0.823*
Diámetro de la mazorca (DM)	0.970*	-0.104	0.974*	-0.150
Diámetro de olote (DO)	0.575	-0.700*	0.971*	0.076
Ancho de semilla (AS)	0.544	0.428	0.082	-0.223
Espesor de semilla (ES)	.	.	-0.810*	0.581
Longitud de semilla (LS)	0.828*	0.357	0.765*	-0.350
Calificación de harina en grano (HA)	.	.	0.520	-0.127
Valores característicos	2.566	1.416	1.447	0.936
Proporción de varianza	0.50	0.28	0.47	0.30

JCan1= Variable canónica 1 en Jala; JCan2= Variable canónica 2 en Jala; MCan1= Variable canónica 1 en Montecillo; MCan2= Variable canónica 2 en Montecillo.
* Variables de mayor magnitud asociadas a su vector característico.

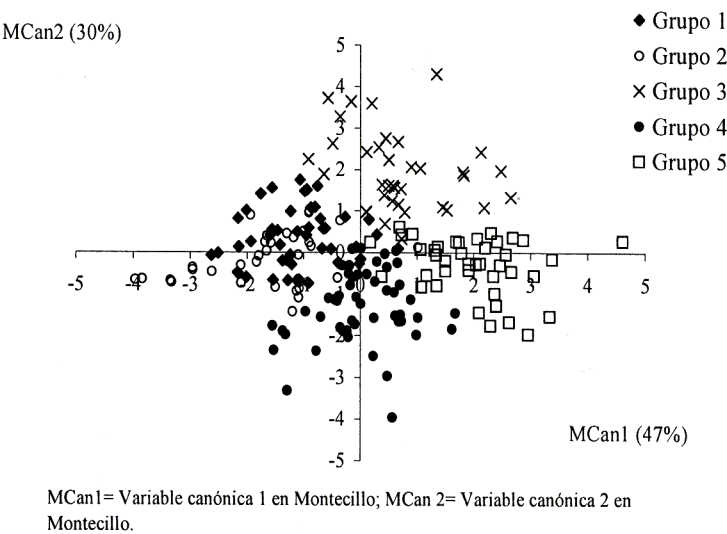


Figura 2. Dispersión de los grupos de familias formados con base en las dos primeras variables canónicas, en Montecillo, Estado de México. 2004.

En ambas localidades quedó claramente agrupado un número importante de familias (Cuadro 1), lo que indica la similitud fenotípica entre ellas; a su vez, se observó la amplia diversidad morfológica que la raza Jala tiene actualmente, por el traslape de algunas familias (Figura 1 y 2); esta diversidad se ha originado en gran parte por la infiltración genética de maíces locales a través del tiempo (Wellhausen, 1966; López *et al.*, 1995; Rice, 2004), así como por la reducción de siembra en su área habitual, y porque en la actualidad se destina a sitios menos productivos, donde los maíces mejorados no se adaptan bien, como en la parcela donde se desarrolló este estudio.

Así mismo, fue interesante que se observaron plantas con mazorcas hasta de 36 cm de largo, lo cual puede indicar evolución de la variedad en suelos pobres y, probablemente, algunos cambios en su arquetipo y fisiología son por un ajuste a este ambiente, como la reducción en su crecimiento y materia seca total, efecto principal de la sequía y del contenido bajo nitrógeno, como se observó en híbridos y líneas de maíz (Grudloyma *et al.*, 2003), creando así mayor variación que no se utiliza en los programas de mejoramiento genético.

En Montecillo, el maíz se manejó con fertirriego, sin restricción de humedad ni nutrimentos, las mazorcas más largas fueron de 34 cm, lo cual puede indicar que siguen presentes alelos típicos a esta raza de maíz, como lo menciona Rice (2004), así como también una mayor adaptabilidad de las plantas, contrastante con el supuesto de que el maíz Jala es menos diverso en comparación con otros grupos raciales por localizarse en un valle relativamente pequeño. En otras regiones de México, se ha observado que la evolución es un hecho continuo, pues sigue siendo inspiración de muchas culturas, como lo señala Florescano (2004), y los agricultores siguen identificando características adicionales y combinando materiales genéticos de manera creativa, para formar mayor variación (Louette y Smale, 2000; Romero *et al.*, 2002; Herrera *et al.*, 2004).

Los resultados del presente estudio sugieren que la raza Jala de maíz es un continuo de las características típicas descritas para esta raza; principalmente hacia menor

tamaño de mazorca, como lo observó Silva (1992) para las características típicas de la raza Cónico, y Herrera *et al.* (2004) para la raza Chalqueño. Sin embargo, 23% de las familias evaluadas presentó una variante de mazorca con granos puntiagudos, con una ligera hendidura en la punta; además, estas familias no se agruparon como una unidad genética, ya que morfológicamente presentaron todas las características del “maíz de húmedo”, y los agricultores, para diferenciarlo, le denominan maíz “chino”. Se podría suponer que en el pasado hubo agricultores que preferentemente cultivaron esta forma de maíz, pero actualmente comparten el mismo lote de semillas; por tanto, es necesario reconocer estas variantes para plantear mejor su recuperación y conservación.

CONCLUSIONES

La variación en la raza Jala de maíz quedó representada con la integración de seis y cinco grupos en Jala, Nayarit y Montecillo, Estado de México, respectivamente. De acuerdo con las distancias de Mahalanobis, se formaron pares de grupos más divergentes en Jala que en Montecillo, serán útiles para eliminar genotipos sin las características distintivas de la raza Jala de maíz, en tanto que un ambiente sin restricción de humedad y nutrimentos como en Montecillo, posiblemente servirá para mantener la diversidad total.

Los caracteres morfológicos como LM y DM, así como DO y LS, permitieron describir la diversidad de la raza Jala en los dos ambientes de prueba, aunque en Jala, Nayarit, la altura de mazorca y el diámetro de pedúnculo contribuyeron a una mejor diferenciación entre los grupos.

La similitud entre los pares de grupos sugiere una base genética común, y la variación observada es un continuo de las características típicas de la raza Jala; sin embargo, pueden diferenciarse las familias con base en la mayor LM, utilizable en un programa de recuperación de este fenotipo; además, se distinguen dos tipos de granos, uno dentado, el típico “maíz de húmedo” para los agricultores del Valle de Jala y otro, puntiagudo, llamado localmente “maíz chino”.

LITERATURA CITADA

- Allard, R. W. 1988. Genetic changes associated with the evolution of adaptedness in cultivated plants and their wild progenies. *J. Hered.* 79:225-238.
- Anderson, E. and Cutler, H. 1942. Races of *Zea mays* L. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 21:69-88.
- Aragon-Cuevas, F.; Taba, S.; Castro-Garcia, F. H.; Hernandez-Casillas, J. M.; Cabrera-Toledo, J. M.; Osorio-Alcala, L. and Dillanes-Ramirez, N. 2005. *in situ* Conservation and use of local maize races in Oaxaca, Mexico: a participatory and decentralized approach. *In*: Taba, S. (ed.). Latin maize germplasm conservation: regeneration, *in situ* conservation, core subsets, and prebreeding. Proceedings of a Workshop. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D. F., México. p. 26-38.
- Burgos M., L. A.; Chávez S., J. L. y Ortiz C., J. 2004. Variabilidad morfológica de maíces criollos de la península de Yucatán, México. *In*: Chávez-Servia, J. L.; Tuxill, J. y Jarvis, D. I. (eds.). Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. p. 58-66.
- Caballero H., F. y Cervantes S., T. 1990. Estudio genético y taxonómico de poblaciones de maíz de la raza Tuxpeño. *Agrociencia, serie Fitociencia* 1(2):43-63.
- Camacho V., T. C. y Chávez S., J. L. 2004. Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México. *In*: Chávez-Servia, J. L.; Tuxill, J. y Jarvis, D. I. (eds.). Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. p. 47-57.
- Castellanos, J. Z.; Uvalle B., J. X. y Aguilar S., A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2a. ed. Colección INCAPA. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. México, D. F. 226 p.
- Cooper, H. D.; Spillane, C.; Kermali, I. and Anishetty, N. M. 1998. Harnessing plant genetic resources for sustainable agriculture. *Plant Genetic Resources* 114:1-8.
- Crossa, J. and Franco, J. 2004. Statistical methods for classifying genotypes. *Euphytica* 137:19-37.
- Florescano, E. 2004. Quetzalcóatl y los mitos fundadores de Mesoamérica. Taurus. México. D. F. 386 p.
- Franco, J.; Crossa, J.; Diaz, J.; Taba, S.; Villaseñor, J. and Eberhart, S. A. 1997. A sequential clustering strategy for classifying gene bank accessions. *Crop Sci.* 37:1656-1662.
- Frese, L. 2002. Combining static and dynamic management of PGR: a case study of beta genetic resources. *In*: Engels, J. M. M.; Ramanatha R., V.; Brown, A. H. D. and Jackson, M. T. (eds.). Managing plant genetic resources diversity. CABI Publishing. New York, NY., USA. p. 133-147.
- Frey, K. J. 1964. Adaptation reaction of oat strains selected under stress and non stress environmental conditions. *Crop Sci.* 4:55-58.
- Goldringer, I.; Enjalbert, J.; David, J.; Paillard, S.; Pham, J. L. and Brabant, P. 2001. Dynamic management of genetic resources: a 13 year experiment on wheat. *In*: Engels, J. M. M.; Ramanatha R., V.; Brown, A. H. D. and Jackson, M. T. (eds.). Managing plant genetic resources diversity. CABI Publishing. New York, NY., USA. p. 245-260.
- Grudloyma, P.; Prasitwattanaseree, S.; Pumklom, M. and Duangjan, W. 2003. Identification of drought and low nitrogen tolerant maize germoplasm in Thailand. *In*: Book of abstracts: Arnel R. Hallauer International Symposium on Plant Breeding. Centro Internacional del Mejoramiento del Maíz y Trigo. México D. F. México. p. 40-41.
- Hernández X., E. 1972. Exploración etnobotánica en maíz. *Fitotecnica Latinoamericana* 8:46-51.
- Herrera C., B. E.; Castillo G., F.; Sánchez G., J. J.; Hernández C., J. M.; Ortega P., R. y Goodman, M. M. 2004. Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191-206.
- Herrera C., B. E.; Castillo G., F.; Sánchez G., J. J.; Ortega P., R. y Goodman, M. M. 2000. Caracteres morfológicos para valorar a la diversidad entre poblaciones de maíz en una región, caso de la raza Chalqueño. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:335-354.
- Hintum, Th. J. L. van; Hamilton, N. R. S.; Engels, J. M. M. and Treuren, R. van. 2002. Accession management strategies: splitting and lumping. *In*: Engels, J. M. M.; Rao, V. R.; Brown, A. H. D. and Jackson, M. T. (eds.). Managing plant genetic diversity. International Plant Genetic Resources Institute and

- CABI Publishing. New York, NY., USA. p. 113-120.
- Ibrahim, K. M. and Barrett, J. A. 2001. Evolutionary changes in Cambridge composite cross five of barley. *In*: Cooper, H. D.; Spillne, C. and T. Hodgkin, T. (eds.). Broadening the genetic base of crop production. International Plant Genetic Resources Institute, Food and Agriculture Organization of the United Nations and CABI Publishing. New York, NY., USA. p. 271-282.
- Johannessen, C. L.; Wilson, M. R. and Davenport, W. A. 1970. The domestication of maize: process or event?. *Geogr. Rev.* 60:393-413.
- Lawrence, M. J.; Marshall, D. F. and Davies, P. 1995. Genetics of genetic conservation. II. Sample size when collecting seed of cross-pollinating species and the information that can be obtained from the evaluation of material held in gene banks. *Euphytica* 84:101-107.
- Linhart, D. and Grant, M. C. 1996. Evolutionary significance of local genetic differentiation in plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 27:237-277.
- Lopez R., A.; Kato Y., A. T. and Castillo G., F. 1995. Karyotypic characterization of the race Jala of maize. *Maydica* 40:233-244.
- Louette, D. and Smale, M. 2000. Farmer's seed selection practices and traditional maize varieties in Cuizalapa, Mexico. *Euphytica* 113:25-41.
- Louette, D.; Charrier, A. and Berthaud, J. 1997. *in situ* conservation of maize in Mexico: genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Econ. Bot.* 51:20-38.
- Márquez S., F. 1985. Genotecnia vegetal: métodos, teoría, resultados. Tomo 1. AGT Editor. México, D. F., México. 357 p.
- Pressoir, G. and Berthaud, J. 2004a. Patterns of population structure in maize landraces from the Central Valleys of Oaxaca in Mexico. *Heredity* 92:84-94.
- Pressoir, G. and Berthaud, J. 2004b. Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity* 92:95-101.
- Rice, E. B. 2004. Conservation and change: a comparison of *in-situ* and *ex-situ* conservation of Jala maize germplasm in Mexico. Ph D. Dissertation. Cornell University. Ithaca, N.Y., USA. 120 p.
- Ritchie, S. W. and Hanway, J. J. 1984. How a corn plants develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Ames, Iowa. USA. 21 p. (Special Report No. 48).
- Romero P., J.; Castillo G., F. y Ortega P., R. 2002. Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(1):107-115.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas-Colegio de Postgraduados (SNICS-CP). 2001. Manual gráfico para la descripción varietal del maíz (*Zea mays* L.). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México, D. F., México. 110 p.
- Silva C., E. G. 1992. Estudio agronómico y taxonómico de colecciones de la raza de maíz cónico, su colección central y perspectivas de uso en mejoramiento genético. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Centro de Genética. Montecillo, Estado de México, México. 116 p.
- Statistical Analysis System Institute (SAS, Institute). 2000. Statistical Analysis System. Versión 8.01. (CD) Cary, N C., USA.
- Stockwell, C. A.; Hendry, A. P. and Kinnison, M.T. 2003. Contemporary evolution meets conservation biology. *Trends. Ecol. Evol.* 18:94-101.
- Vetelainen, M. and Nissila, E. A. J. 2001. Genetic base-broadening of barley (*Hordeum vulgare* L.) in the Nordic Countries. *In*: Cooper, H. D.; Spillne, C. and Hodgkin, T. (eds.). Broadening the genetic base of crop production. International Plant Genetic Resources Institute, Food and Agriculture Organization of the United Nations and CABI Publishing. New York, NY., USA. p. 261-270.
- Wellhausen, E. J. 1966. Germoplasma exótico para el mejoramiento del maíz en los Estados Unidos. Trad. del inglés por Alfredo Carballo Quiroz. Centro Internacional del Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D. F., México. 16 p. (Folleto de Investigación Núm. 4).
- Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M. y Hernández X., E., en colaboración con Mangelsdorf, P. C. 1951. Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Oficina de Estudios Especiales, México, D. F. 237 p. (Folleto Técnico Núm. 5.).