

CARACTERIZACIÓN DE RAZAS CUBANAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) MEDIANTE MARCADORES AGROMORFOLÓGICOS EN LA COLECCIÓN NACIONAL DEL CULTIVO

Lianne Fernández[✉], J. Crossa, Zoila M. Fundora y G. Gálvez

ABSTRACT. Cuban maize (*Zea mays* L.) races constitute a potential of high genetic value for Cuba and the Caribbean region. This work was aimed at characterizing Cuban races by means of agro-morphological markers in the national crop collection. Thus, 92 accessions from INIFAT's gene bank were planted; four commercial varieties out of them were used as check: *Gíbara*, *Pajimaca*, *Victoria* and *Francisco Mejorado*, besides employing an unreplicated design for two years. Then, 15 characters were measured on the ear and kernel, nine quantitative and six categorical ones, which were statistically processed through Ward-MLM (modified local model) strategy, using Gower's distance as a similarity measurement with SAS 9.0 statistical package. This study proved the presence of six races in the national collection: *Criollo*, *Tusón*, *Canilla*, *Argentino*, *Amarillo Reventador* and *Dulce*. *Criollo* is the best representative race all over the country and the greatest variability is recorded in the eastern region, where every race is situated except *Dulce*. The current characterization of this race status provides more information about Cuban maize germplasm. In addition, some elements are supplied to get a better knowledge on this crop that, at the same time, will support its preservation and an adequate use in the national and regional strategic context.

Key words: maize, varieties, germplasm conservation, Cuba

RESUMEN. Las razas cubanas de maíz (*Zea mays* L.) constituyen un potencial de gran valor genético para Cuba y el Caribe. El objetivo de este trabajo fue caracterizar las razas de maíz mediante marcadores agromorfológicos en la colección nacional del cultivo. Se sembraron 92 accesiones de maíz pertenecientes al banco de germoplasma del INIFAT; de ellas se usaron, como testigo, cuatro variedades comerciales: *Gíbara*, *Pajimaca*, *Victoria* y *Francisco Mejorado*, y se empleó un diseño no replicado durante dos años. Se evaluaron 15 caracteres en la mazorca y el grano, nueve cuantitativos y seis categóricos, que se procesaron estadísticamente por la estrategia *WARD-MLM* (método local modificado), que emplea la distancia de Gower como medida de similitud con el paquete estadístico SAS 9.0. Este estudio evidenció la presencia de seis razas en la colección nacional: *Criollo*, *Tusón*, *Canilla*, *Argentino*, *Amarillo Reventador* y *Dulce*. La raza *Criollo* es la mejor representada en todo el país y la mayor variabilidad se aprecia en la región oriental, localizándose todas las razas excepto la *Dulce* en esta área de la isla. La caracterización actualizada del estatus de estas razas aporta una mayor información sobre el germoplasma cubano del maíz. Además, se ofrecen elementos que permiten un mejor conocimiento del cultivo y que, a su vez, apoyarán su conservación y uso adecuado en el marco de las estrategias nacionales y regionales.

Palabras clave: maíz, variedades, conservación del germoplasma, Cuba

INTRODUCCIÓN

Los recursos genéticos del maíz (*Zea mays* L.) en América Latina han sido ampliamente estudiados, especialmente el Caribeño, que se destaca por su rendimiento potencial, buena habilidad combinatoria y resistencia a plagas y enfermedades comunes (1, 2, 3, 4, 5).

El germoplasma de esta especie se clasificó por primera vez y se separaron los individuos en seis grupos, de acuerdo con el color, la forma y el tipo de grano a

finales del siglo XIX (6). Sin embargo, se ha criticado esta clasificación e investigado sobre el rango de variabilidad entre colecciones de germoplasma del cultivo (7), desarrollando el concepto de razas de maíz y proponiendo como definición de raza al conjunto de individuos relacionados con características en común, que permiten ser reconocidos como grupo.

Para Cuba, se han descrito siete razas de maíz: *Criollo*, *Tusón*, *Argentino*, *Canilla*, *Blanco Reventador*, *Amarillo Reventador* y *Blanco Dentado* (8). Sin embargo, se desconoce, en toda su magnitud, la probable presencia de ellas hasta nuestros días; siendo muy posible que, en el transcurso de 50 años, algunas aún permanezcan, otras se hayan modificado, e incluso ya no existan.

Por otra parte, en la década de los 90, la colección nacional *ex situ* del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), estaba constituida mayormente por cultivares tradicionales colectados en diferentes regiones del país, por lo que su estudio puede

Dra.C. Lianne Fernández, Investigadora Auxiliar y Dra.C. Zoila M. Fundora, Investigadora Titular del Grupo de Genética Vegetal, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT), calle 1 esquina 2, Santiago de las Vegas, CP 17 200, Dr. J. Crossa, Jefe del departamento de Bioestadística, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México, y Dr.C. G. Gálvez, Profesor e Investigador Titular de la facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba.

✉ lfernandez@inifat.co.cu, taymirs@infomed.sld.cu

brindar una imagen de la distribución *in situ* más reciente que la informada anteriormente (8).

El cultivo del maíz forma parte de una cultura milenaria de los países latinoamericanos y Cuba no es una excepción. En este sentido, se hace necesario reconocer la contribución que representa la diversidad genética existente en Cuba al patrimonio de la especie, asunto que requiere de una atención inmediata para su protección, conservación y uso adecuado (9).

Es por ello que el objetivo de este trabajo fue caracterizar las razas de maíz mediante marcadores agromorfológicos en la colección nacional del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se sembró una muestra de 92 accesiones de la colección nacional (Tabla I), que representa aproximadamente el 45 % del total, procedente de las colectas realizadas en Cuba durante el desarrollo del programa INIFAT-ZIGuK (actual *Institut für Kulturpflanzenforschung*, IPK), entre 1982 y 1992. De ellas, se usaron como testigo cuatro variedades comerciales: Gíbara, Pajimaca, Victoria y Francisco Mejorado en un diseño no replicado (10). Las parcelas contaron con cinco surcos de 3,5 m de longitud por accesión (11) y se evaluaron 15 descriptores (Tabla II).

Tabla I. Relación de accesiones, su provincia de procedencia y región a la cual pertenecen

Número	Accesión	Provincia	Región
1	P 683	Ciego de Ávila	Central
2	P 683 A	Ciego de Ávila	Central
3	P 506 B	Villa Clara	Central
4	P 315	Cienfuegos	Central
5	P 572	Sancti Spíritus	Central
6	P 433	Villa Clara	Central
7	P 653	Sancti Spíritus	Central
8	P 877	Holguín	Oriental
9	P 820 A	Las Tunas	Oriental
10	P 530	Sancti Spíritus	Central
11	P 732 A	Ciego de Ávila	Central
12	P 683 B	Ciego de Ávila	Central
13	P 521	Sancti Spíritus	Central
14	P 123 A	Pinar del Río	Occidental
15	P 799	Holguín	Oriental
16	P 156	Pinar del Río	Occidental
17	P 208	Pinar del Río	Occidental
18	P 672	Ciego de Ávila	Central
19	P 821 C	Las Tunas	Oriental
20	P 873	Holguín	Oriental
21	P 732 B	Ciego de Ávila	Central
22	P 854 AC	Holguín	Oriental
23	P 416 B	Villa Clara	Central
24	P 479	Villa Clara	Central
25	P 823 A	Las Tunas	Oriental
26	P 732 B	Ciego de Ávila	Central
27	P 820 ACB	Las Tunas	Oriental
28	P 854 B	Holguín	Oriental
29	P 732	Ciego de Ávila	Central
30	P 811 C	Holguín	Oriental

31	P 677	Ciego de Ávila	Central
32	P 839	Holguín	Oriental
33	P 270	Villa Clara	Central
34	P 639	Sancti Spíritus	Central
35	P 614	Sancti Spíritus	Central
36	P 799 A	Holguín	Oriental
37	P 854 C	Holguín	Oriental
38	P 315 B	Cienfuegos	Central
39	P 732 BA 127	Ciego de Ávila	Central
40	P 811 B	Holguín	Oriental
41	P 821 A1	Las Tunas	Oriental
42	P 854 A	Holguín	Oriental
43	P 854 ACB	Holguín	Oriental
44	P 212	Pinar del Río	Occidental
45	P 876	Holguín	Oriental
46	P 142	Pinar del Río	Occidental
47	P 876	Holguín	Oriental
48	P 823 A	Las Tunas	Oriental
49	P 677 B	Ciego de Ávila	Central
50	P 639	Sancti Spíritus	Central
51	P 1771 ACB	Pinar del Río	Occidental
52	P 2314	Holguín	Oriental
53	P 1156	Sancti Spíritus	Central
54	P 1598 A	Guantánamo	Oriental
55	P 2313	Holguín	Oriental
56	P 1598 D	Guantánamo	Oriental
57	P 2133 ACB	Granma	Oriental
58	P 1771	Pinar del Río	Occidental
59	P 2162	Guantánamo	Oriental
60	P 2133	Granma	Oriental
61	P 2313-2	Holguín	Oriental
62	P 1225 ABC	Holguín	Oriental
63	P 1236	Holguín	Oriental
64	P 2284	Ciudad de la Habana	Occidental
65	P 2313	Holguín	Oriental
66	P 3014 A	Holguín	Oriental
67	P 3116	Guantánamo	Oriental
68	P 3033	Cienfuegos	Central
69	P 3128	Cienfuegos	Central
70	P 3168	Guantánamo	Oriental
71	P 3014 B	Holguín	Oriental
72	P 3050	La Habana	Occidental
73	P 1225	Holguín	Oriental
74	P 1010 A	Holguín	Oriental
75	P 479 A	Villa Clara	Central
76	P 823 A	Holguín	Oriental
77	P 2046	Isla de la Juventud	Occidental
78	P 2546	La Habana	Occidental
79	P 1010 B	Holguín	Oriental
80	P 2527 A	La Habana	Occidental
81	P 2338	Holguín	Oriental
82	P 1830	Pinar del Río	Occidental
83	P 841 B	Holguín	Oriental
84	P 3647	Guantánamo	Oriental
85	P 3169 AB	Guantánamo	Oriental
86	P 3648	Guantánamo	Oriental
87	P 3649	La Habana	Occidental
88	P 3650	La Habana	Occidental
89	Pajimaca		Variedad comercial
90	Victoria		Variedad comercial
91	Gíbara		Variedad comercial
92	Francisco Mejorado		Variedad comercial

Tabla II. Caracteres evaluados según su clasificación, unidad de medida (UM), acrónimo y tamaño de la muestra en las 92 accesiones de maíz evaluadas en condiciones *ex situ*

Caracteres cuantitativos (UM)		Acrónimo	Tamaño de la muestra
1	Longitud de la mazorca sin brácteas (cm)	LM	7 mazorcas/accesión
2	Diámetro de la mazorca sin brácteas (cm)	DM	
3	Número de granos por hilera	NGH	
4	Número de hileras de granos	NHG	
5	Diámetro de la tusa (cm)	DT	
6	Longitud del grano (mm)	LG	10 granos/mazorca/accesión
7	Ancho del grano (mm)	AG	
8	Grosor del grano (mm)	GrG	
9	Peso de 100 semillas (g)	P100S	3 muestras homogeneizadas
Caracteres categóricos			
10	Color de las brácteas	CB	7 mazorcas/accesión
11	Forma de la mazorca	FM	
12	Color de la tusa	CT	
13	Disposición de hileras de grano	DHG	
14	Color del grano	CG	7 mazorcas/accesión
15	Tipo de grano	TG	

El experimento se realizó en la finca "La Amalia", municipio Boyeros, entre septiembre, 2003 y enero, 2004, siguiendo las recomendaciones para la producción del cultivo (12). Para describir la variabilidad de la colección *ex situ*, se realizó un análisis de varianza bifactorial de los caracteres cuantitativos en las parcelas de los testigos y se calculó un factor de corrección recomendado para los diseños no replicados, con el objetivo de homogeneizar las posibles diferencias en las accesiones en cada uno de los años, como consecuencia de problemas de suelo y riego en el experimento.

Posteriormente, para las 92 accesiones, se calculó la media entre ambos años y en la matriz obtenida de los atributos cuantitativos y con los datos de los caracteres categóricos, se aplicó la estrategia en dos pasos *Ward-MLM* (método local modificado) (13, 14, 15, 16). En la primera etapa se emplea la distancia de Gower (13) para medir la similitud entre las accesiones, considerando las variables cuantitativas y categóricas de forma simultánea y, en la segunda, se modifican los grupos iniciales formados por el método *Ward*, donde se realiza el análisis canónico de la parte continua de los datos, empleando los resultados del agrupamiento definido en la etapa anterior, con el objetivo de mejorar estos grupos. Como criterios de selección de los autovectores se utilizaron aquellos valores más próximos al mayor. En este análisis se empleó el paquete estadístico *SAS Institute* (17).

A continuación se clasificaron las accesiones según los grupos formados, teniendo en cuenta los criterios expresados (8, 18), los cuales establecen que los caracteres relacionados con la mazorca y el grano son los que permiten establecer mejor la clasificación racial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron tres grupos a partir del análisis de agrupamiento de *Ward-MLM* y la media de las probabilidades de asignación de cada observación por grupo fue de 0,95; solamente el 7 % de las accesiones se asignaron a sus grupos con valores inferiores al 75 %. Estos resultados están en correspondencia con otros obtenidos (13, 19), que emplearon el mismo método en otras colecciones de germoplasma de maíz y obtuvieron promedios de probabilidad de asignación de 0,90 y 0,98, y menos del 5 y 2 % de los materiales tuvieron probabilidad del 0,50 y 0,75 respectivamente.

La Tabla III ofrece la descripción de los grupos formados a partir de la estrategia *Ward-MLM* para los caracteres cuantitativos. Se puede constatar que los coeficientes de variación para cada atributo evaluado en cada uno de los grupos formados son moderadamente bajos, exceptuando el peso de 100 semillas en el grupo 2, que tuvo el valor más elevado (22,88 %).

Sin embargo, al comparar cada atributo por grupo, se detectó que en el grupo 1 los caracteres DM y NHG presentan los mayores valores de coeficientes de variación, intermedios para DT y P100S, y los más bajos fueron para LM y los relacionados con las dimensiones del grano; estos últimos resultaron los más homogéneos dentro de este grupo. El grupo 2 alcanzó los mayores valores para LM, DT, NGH, AG y P100S, siendo el resto de moderados a bajos; el atributo más homogéneo en este grupo fue NHG. El grupo 3 se caracterizó por presentar los valores más elevados para las dimensiones del grano, especialmente su longitud y grosor; los valores más bajos fueron para los caracteres: DM, DT, NHG, NGH y P100S e intermedios para LM y AG.

Tabla III. Descripción de los grupos formados mediante la estrategia Ward-MLM para las 92 accesiones

Grupos	1			2			3		
Número de accesiones por grupo	37			38			17		
Promedio de la distancia de Gower	0,72			0,73			0,74		
Caracteres	Medias	cv	ds	Medias	cv	ds	Medias	cv	ds
LM	15,05	9,62	1,44	13,41	14,89	1,99	14,03	10,08	1,14
DM	3,91	12,37	0,48	4,02	10,75	0,43	4,20	8,38	0,35
DT	2,55	15,25	0,39	2,19	19,16	0,42	2,68	14,74	0,39
NGH	29,28	14,33	4,19	27,76	16,35	4,53	26,32	14,60	3,84
NHG	14,31	9,80	1,40	14,07	7,14	1,00	14,28	6,56	0,93
LG	0,98	8,08	0,07	0,92	10,34	0,09	1,13	13,78	0,15
AG	0,80	7,71	0,06	0,79	19,35	0,15	0,82	13,18	0,10
GrG	0,38	9,30	0,03	0,37	9,92	0,03	0,39	16,42	0,06
P100S	23,10	18,86	4,36	18,84	22,88	4,31	24,14	17,26	4,16

cv= Coeficiente de variación ds= desviación estándar de las variables cuantitativas

Los valores de la distancia de Gower para cada grupo oscilan entre 0,72 y 0,74, que pueden catalogarse como altos, ya que están próximos a 1 (13, 14, 15, 16), lo que refleja la gran variabilidad de cada grupo. Al comparar los tres grupos, el 1 obtuvo el menor valor de distancia de Gower (0,72), el 2 el valor intermedio (0,73) y el 3 sobresale con el mayor (0,74).

La Tabla IV ofrece las principales características de los tres grupos formados para las variables categóricas. Para el color de las brácteas se observa, de manera general, que el grupo 1 presenta mayor diversidad con cuatro clases: blanco, intermedio, rojo y morado; para este grupo el color predominante fue el blanco. Los grupos 2 y 3 presentan a su vez una alta presencia de brácteas de color blanco; en el 2 hay un porcentaje bajo de brácteas de color intermedio y en el 3 se detectó la mayor presencia de brácteas moradas de los tres grupos. De manera general, el color blanco fue el que alcanzó los porcentajes más elevados. También se observa que la forma de la mazorca cilíndrica-cónica es la que más sobresale en los tres grupos. El 1 presenta, además, formas cilíndricas y de cigarro con baja representatividad y el 3 la forma cilíndrica. Sin embargo, el 2 incluye accesiones con otras formas: cilíndrica, cónica y de cigarro, siendo este el más variable para este carácter.

El color blanco de la tusa fue el que tuvo mayor representatividad en los tres grupos. En este caso, hay que señalar que los grupos 1 y 3 presentaron otros colores, como son el jaspeado y morado; pero en el 2 no hay presencia de tusas moradas. La disposición de hileras de granos que predomina es la regular, aunque los grupos 1 y 2 presentan otras disposiciones como son la recta, irregular y en espiral. El grupo 3 se identificó por tener todas sus mazorcas con una disposición regular en sus hileras de grano.

Tabla IV. Descripción de los grupos formados mediante la estrategia Ward-MLM para las 92 accesiones, frecuencia y porcentaje en que se manifiestan las diferentes modalidades de las variables categóricas por grupo

Grupos		1	2	3
Número de accesiones		37	38	17
Color de las brácteas	Intermedio	10,81	5,26	
	Rojo	2,7		
	Morado	2,7		23,52
Forma de la mazorca	Cilíndrica	5,4	2,63	11,75
	Cilíndrica-cónica	86,48	73,68	88,23
	Cónica		7,89	
	Cigarro	8,1	15,78	
Color de la tusa	Blanco	91,89	86,84	82,35
	Morado	2,7		5,88
	Jaspeado	5,4	13,15	11,75
Disposición de hileras del grano	Regular	83,78	86,84	100
	Irregular	5,4	7,89	
	Recta	5,4	2,63	
	Espiral	5,4	2,63	
Color del grano	Blanco		2,63	
	Amarillo	18,91	76,31	64,7
	Amarillo-naranja	62,16	18,42	23,52
	Naranja	10,81		5,88
	Naranja-rojo	5,4	2,63	5,88
Tipo de grano	Rojo	2,7		
	Dentado			5,88
	Semi-dentado	8,1	10,52	
	Semi-cristalino		18,41	5,88
	Cristalino	89,18	63,15	88,23
	Reventón	2,7	5,26	
	Dulce		2,63	

Porcentaje de los diferentes estados de cada variable categórica

Para el color del grano, se detectó que en los tres grupos hay una gran variabilidad y sobresalen los colores amarillo y amarillo-naranja. En el grupo 1 predomina el color amarillo-naranja y a continuación le siguen en orden decreciente de frecuencia los colores amarillo, naranja, naranja-rojo y rojo. El grupo 2 está más representado por el color amarillo y le continúan el amarillo-naranja, naranja y rojo, estos dos últimos con un solo representante. En el grupo 3 también hay predominio del color amarillo, le siguen el amarillo-naranja y naranja-rojo. El tipo de grano que sobresale en los tres grupos es el cristalino. El grupo 2 es el más heterogéneo, ya que posee representantes del tipo semi-cristalino y semi-dentado, reventón y dulce, este último en muy baja frecuencia. El grupo 1 presenta granos del tipo semi-dentado y reventón. El grupo 3 tiene granos de los tipos semi-cristalino y dentado.

El análisis reveló que los tres grupos estuvieron integrados por más de un tipo de grano, según la región de procedencia (Tabla V), lo que evidenció la presencia de accesiones con caracteres morfológicos intermedios, debido posiblemente al sistema de reproducción alógamo de la planta, que permite el cruzamiento entre diferentes tipos de granos. Esto concuerda con otros planteamientos acerca de que los agricultores generalmente siembran dos o más variedades correspondientes a varias razas y las poblaciones de maíz son, por tanto, muy heterogéneas (4). En dicha tabla se puede apreciar una alta frecuencia de granos cristalinos y semi-cristalinos (78 accesiones), lo que sugiere un desbalance en las 92 accesiones evaluadas en cuanto a este carácter, donde el resto quedaron distribuidas en los otros tipos de granos.

Por tal razón, la colección *ex situ* debe enriquecerse en los tipos de grano deficitarios (dentados y semi-dentados fundamentalmente), a fin de poder conservarlos y utilizarlos dada su importancia para el país y el Caribe. El tipo de grano y la distribución geográfica se consideran pie-

zas clave en la clasificación del germoplasma de maíz (20, 21, 22). El carácter tipo de grano está asociado a las diferentes etapas de evolución del cultivo y los distintos usos (23). Este carácter refleja, según la historia del continente americano, la preferencia de los agricultores, donde en la clasificación de variedades autóctonas, los grupos raciales se confunden con los de diferentes tipos de granos (22).

En la Tabla V también se muestra la distribución de las accesiones por región en cada uno de los grupos formados, donde se aprecia que los grupos 1 y 2 son los que concentran la mayor cantidad de accesiones, con 37 y 38 respectivamente. En los tres grupos quedaron ubicadas accesiones de las tres regiones, sobresaliendo la región oriental en los grupos 1 y 2 con una frecuencia alta, 19 y 18 accesiones respectivamente. La región central aportó 15 accesiones en el grupo 2; el grupo 3 resultó ser el más equilibrado en cuanto a procedencia geográfica. Las variedades comerciales también quedaron distribuidas en los tres grupos de forma equitativa.

La Tabla VI ofrece las correlaciones entre las variables cuantitativas y canónicas, donde se muestra la importancia de cada variable original en la formación de los grupos. La variable canónica 1 estuvo correlacionada con los caracteres DT, LG y P100S, mientras que la 2 estuvo asociada a LM, NGH, DM y LG, estos dos últimos en sentido negativo. La 1 explica el 79,12 % y la 2 el 20,88 % de la variación entre grupos.

La Figura 1 ofrece la distribución espacial de las accesiones y variables canónicas en los tres grupos formados a partir de este análisis. El grupo 1 ocupa en su inmensa mayoría el área del cuadrante superior derecho, aunque algunas accesiones se agruparon en el izquierdo. El grupo 2 se concentró en la parte izquierda, tanto en el cuadrante superior como en el inferior y el grupo 3 ocupa el cuadrante inferior derecho. Esta distribución obedece a las características de las variables categóricas y cuantitativas para cada grupo, que fueron explicadas con anterioridad.

Tabla V. Descripción de los grupos formados a partir del Ward-MLM de la colección de maíz teniendo en cuenta el tipo de grano y la región de procedencia

Grupo	Total	%	Región	Semi-dentado	Dentado	Semi-cristalino	Cristalino	Reventador	Dulce
1	37	40,21	OC	1			5		
			C				10		
			OT	2			16	1	
			VC				2		
2	38	41,30	OC	1		1	2		
			C			3	11	1	
			OT	3		3	11	1	
			VC						1
3	17	18,47	OC				5		
			C			1	3		
			OT				7		
			VC						
Total	92	100		7	1	8	72	3	1

Oc: Occidente, C: Centro, OT: Oriente y VC: Variedad comercial

Tabla VI. Estructura canónica total de las 92 accesiones

	Canónica 1	Canónica 2
% de variación explicado	79,12	20,88
% acumulado	79,12	100,00
LM	0,32	0,46
DM	0,05	-0,35
DT	0,52	0,06
NGH	-0,01	0,38
NHG	0,10	0,05
LG	0,62	-0,37
AG	0,12	-0,04
GrG	0,15	0,03
P100S	0,54	0,10

Valores en negrita expresan las mayores correlaciones

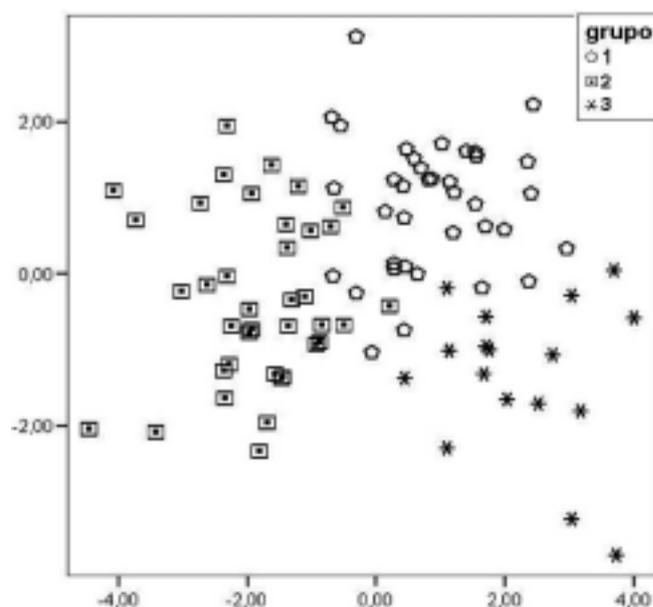
Para identificar las razas, se analizaron los valores de los caracteres de la mazorca y el grano dentro de cada grupo, que coinciden con los que establecen que estos caracteres son los que permiten establecer mejor la clasificación racial (8, 18).

La raza Criollo tiene su mejor representación en los granos cristalinos y semi-cristalinos de color amarillo y amarillo-naranja, de las accesiones que se encuentran en los grupos 1, 2 y 3 (Tabla VII), donde al comparar estos valores con los reportados anteriormente (8), los obtenidos en este trabajo se aproximan a estos. Las diferencias encontradas se pueden atribuir a la influencia de la microevolución que se produce en el proceso de selección convergente hacia un tipo determinado de mazorcas ligeramente más pequeñas y con tusas más delgadas, la migración e introducción de nuevo germoplasma, la selección orientada a determinados genotipos e hibridación natural ocurrida durante todos estos años, que pudieron originar una introgresión de los genes de una raza a otra.

Tabla VII. Relación de las razas presentes y sus principales características de acuerdo con los grupos formados en las 92 accesiones (n-frecuencia de las accesiones)

Razas	Giollon=70				Argentino=10				Tusón=5				Canillan=3		Amarillo reventador=3			Dulce=1	
	1	2	3	Medias	1	2	3	Medias	1	2	3	Medias	2	Medias	1	2	Medias	2	Medias
n	26	30	14		7	1	2		3	1	1		3		1	2		1	
LM	15,18	13,4	14,1	14,2	14,69	13,89	12,74	13,77	15,07	15,57	15,71	15,45	14,54	14,54	14,49	10,3	10,3	13,6	13,6
DM	4,01	4,05	4,17	4,08	3,72	4,04	4,1	3,95	3,77	4,46	4,9	4,38	3,63	3,63	3,29	3,59	3,59	4,55	4,55
DT	2,61	2,27	2,62	2,5	2,48	2,13	2,91	2,51	2,46	2,64	3,14	2,75	1,54	1,54	2,14	2,01	2,01	2,5	2,5
NGH	29,31	27,05	25,83	27,4	29,61	25,89	26,27	27,26	27,8	32,3	33,27	31,12	32,61	32,61	30,67	25,87	25,87	32,03	32,03
NHG	14,42	14,21	14,3	14,3	14,02	13,5	13,8	13,77	13,83	13,85	15,15	14,28	13,22	13,22	15,06	13,76	13,76	15,4	15,4
LG	1,01	0,91	1,14	1,02	0,94	0,94	1,04	0,97	0,95	1,03	1,19	1,06	1,01	1,01	0,94	0,77	0,77	1,1	1,1
AG	0,81	0,79	0,82	0,81	0,79	0,77	0,88	0,81	0,81	0,83	0,83	0,82	0,76	0,76	0,74	0,63	0,63	0,75	0,75
GrG	0,39	0,38	0,39	0,39	0,37	0,39	0,37	0,38	0,35	0,37	0,38	0,37	0,36	0,36	0,38	0,35	0,35	0,32	0,32
P100S	23,83	18,98	23,47	22,1	21,06	21,53	26,58	23,06	24,32	26,6	28,6	26,51	18,08	18,08	15,06	13,74	13,74	16,54	16,54
CG	AyAN				N	NRyR			A				A		AyAN			Bl	
TG	CySC				CySC				D				DySD		R			Du	

GrG: Grosor del grano (mm) y P100S: Peso de 100 semillas (g) CG: Color del grano (Bl-Blanco, A-Amarillo, AN-Amarillo-naranja, N-Naranja, NR-Naranja-rojo, R-Rojo) TG: Tipo de grano (C-Cristalino, SC-Semi-cristalino, D-Dentado, SD-Semi-dentado, Du-Dulce y Reventador)

**Figura 1. Distribución espacial de las accesiones de la colección ex situ en las variables canónicas 1 y 2**

En el grupo 1 se incluyen dos variedades comerciales: Francisco Mejorado y Victoria, típicos ejemplares de la raza Criollo. Se encontraron accesiones procedentes de las tres regiones del país, lo que ratifica que es la raza más frecuente y dispersa en toda la isla. Por otro lado, los elementos antes expuestos sugieren que esta raza es la que mejor se adapta a nuestras condiciones agroclimáticas, ya que presenta buena resistencia a *Sitophilus zeamais* Mostch. (gorgojos), así como alcanza los mejores rendimientos (2, 18). Otra causa puede ser que se ajusta a las preferencias alimentarias de la población, por su sabor dulce y color amarillo que le confiere a los alimentos.

La raza Argentino también está asociada a los granos cristalinos y semi-cristalinos de los grupos 1, 2 y 3 (Tabla VII); estas accesiones se destacan por su color naranja intenso. El elemento más importante para la definición de esta raza es precisamente la presencia de este color naranja en el grano, ya que para el resto de sus caracteres es muy parecida a la Criollo. Sin embargo, hay una accesión que presenta granos rojos, y que se puede inferir por el resto de sus características como perteneciente a la raza Argentino. La presencia de este color rojo es posible que se deba a la introducción de algún morfotipo foráneo, que mediante cruces con otros cultivares propiciara la presencia de este color y que, posteriormente, se haya fijado este carácter a partir de la selección que realizan los agricultores. La mayor cantidad de accesiones que integran esta raza proceden de Oriente, lo cual sugiere una vez más la variabilidad del cultivo en esta región del país, donde esta raza tiene su mayor representatividad.

La raza Tusón se ve reflejada en los genotipos de granos dentados incluidos en los grupos 1, 2 y 3 (Tabla VII); su principal característica distintiva radica en las dimensiones de la mazorca y tusa. En el grupo 3 se encuentra el cv Gíbara, exponente típico de esta raza. La raza Canilla se encuentra solo representada en el grupo 2 y se caracteriza por poseer mazorcas de medianas a largas y delgadas, con granos semi-dentados. Las razas Tusón y Canilla son más frecuentes en la región oriental de Cuba.

La raza Amarillo reventador está presente en los grupos 1 y 2, identificada por el tipo de grano reventador (Tabla VII), caracterizada por presentar mazorcas pequeñas y granos de pequeñas dimensiones y color amarillo.

A la raza Dulce le corresponde la única variedad de grano blanco y dulce que posee Cuba, cv comercial Pajimaca. Actualmente, esta variedad se cultiva en Cuba y es demandada para su consumo tierno por el turismo. Los cv Francisco Mejorado y Gíbara también fueron el resultado del programa de mejoramiento desarrollado por Carlos González del Valle a finales de 1940 en la Estación Agronómica de Santiago de las Vegas (actual INIFAT) (24, 25). Estas variedades son utilizadas actualmente en la producción en el país (26).

Teniendo en cuenta las características cuantitativas y categóricas (atributos relacionados con la mazorca y el grano) de las accesiones estudiadas, y tomando como base los planteamientos de que los maíces cubanos se diferencian por características distintivas de la mazorca y el grano (8), es posible afirmar que aún se encuentren algunas de las razas descritas, aunque no en sus formas originales.

Las razas de maíz identificadas para Cuba por este autor fueron: Criollo, Tusón, Canilla, Argentino, Blanco reventador (*White pop*), Amarillo reventador (*Yellow pop*) y Blanco dentado (*White dent*), basándose en tres tipos extremos en poblaciones totalmente aisladas entre sí: 1) criollo de grano con grosor intermedio; 2) dentado de grano ancho, y 3) dentado con granos muy estrechos e isométricos en su sección transversal.

Los resultados revelan que en las accesiones estudiadas están presentes seis razas: Criollo, Canilla, Tusón, Argentino, Amarillo Reventador y Dulce.

La Figura 2 muestra las accesiones distribuidas de acuerdo con la raza a la que pertenecen, especificando su región de procedencia; aquí se puede constatar que la mayor variabilidad se encuentra en la región oriental, con accesiones en cinco de las seis razas presentes y que la mejor representada en la colección es la Criollo, con accesiones de las tres regiones de la isla de Cuba, seguida por la Argentino. El resto muestra baja frecuencia, evidenciándose el predominio de los granos cristalinos y déficit de granos dentados y reventadores en la colección *ex situ*.

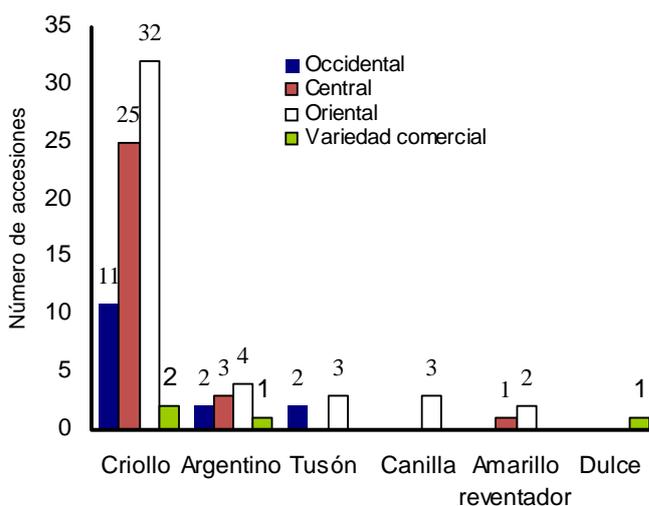


Figura 2. Distribución y frecuencia de las accesiones evaluadas según su procedencia y raza

La mezcla evidente que se ha producido, probablemente debido al manejo de los agricultores, las hibridaciones consiguientes entre los diferentes tipos, así como la selección natural y artificial producida en el transcurso del tiempo, hacen muy compleja la identificación de las razas (8). De hecho, se afirmó que es muy probable que en los tiempos prehistóricos (4), las razas de maíz fueran más divergentes entre sí que ahora, pero el desarrollo social, los medios de transporte y las actividades comerciales, centrado fundamentalmente por la actividad del hombre, han promovido grandemente las posibilidades de mezclas entre ellas.

Por otro lado, las razas cubanas de maíz surgen como resultado de tres fuerzas presentes de la evolución: la introducción y migración del germoplasma, hibridación, y selección natural y artificial (8). Por su parte, se confirmó que la selección artificial juega un papel muy importante en la adaptación de las razas a los ecosistemas de producción y especialización para los múltiples usos culturales (4). Las razas son identificadas por diferentes caracteres cuantitativos, que son frecuentemente variables dentro de ellas (3). Por estas razones y los resultados, es posible afirmar que en la actualidad las razas no presentan las mismas características, como

fueron descritas por este autor, aunque sí mantienen la misma tendencia en los caracteres que las diferencian.

La identificación de seis razas en la colección *ex situ* permite conocer las características principales actuales de cada una de ellas y su distribución geográfica presente en el país. Los elementos anteriormente explicados aportan una mayor información sobre el germoplasma cubano de maíz, lo cual tributará en su mejor conocimiento, uso y conservación del cultivo, y está en correspondencia con otros planteamientos (1, 2, 3, 4, 5).

Estos autores han reiterado la importancia del germoplasma cubano, por las características distintivas en la mazorca y el grano, y su buena habilidad combinatoria con otras fuentes de germoplasma para la obtención de híbridos comerciales en diferentes países, razones que conllevan a conservarlos y usarlos adecuadamente.

A partir de estas evidencias, se deben trazar estrategias de colecta, encaminadas a enriquecer la colección *ex situ*, con accesiones que posean granos del tipo dentado (fundamentalmente Tusón y Canilla) y del tipo reventador (Amarillo y Blanco reventador), a fin de contar con un número mayor de muestras con estas características en la colección. El enriquecimiento de la colección *ex situ* con estos morfotipos garantizará no solo su conservación, sino también un mejor uso en los diferentes programas de mejoramiento, en virtud de las características distintivas de las mazorcas y el grano, así como de su buena habilidad combinatoria y específica. Estas colectas deben ser dirigidas fundamentalmente a la región oriental, zona de mayor variabilidad y presencia de estos tipos de grano en Cuba, sin descuidar otras áreas del país (27).

Se hace imprescindible la preservación de estos recursos genéticos nativos, tanto en condiciones *ex situ* como *in situ*, aspecto que se encuentra en correspondencia con los objetivos del Plan de Acción Nacional y Mundial para la Conservación de los Recursos Fitogenéticos, la Agricultura y Alimentación, donde los agricultores juegan un papel protagónico en la conservación de los recursos genéticos y los gobiernos a través de sus legislaciones deben proteger sus recursos autóctonos.

Diversos son los ejemplos del uso del germoplasma cubano; uno de ellos es destacar que muchos híbridos actuales de Estados Unidos y otros países desarrollados tienen como base genética maíces cubanos correspondientes fundamentalmente a las razas Criollo, Argentino y Tusón, por lo que se le debe conceder importancia en aras de su conservación (19). Estos elementos deben tenerse en cuenta en los programas de mejoramiento del cultivo que se desarrollen en el país, ya que estos maíces se destacan por poseer genes favorables para la resistencia a plagas y buenas aptitudes para estudios de habilidad combinatoria general y específica (1, 2, 3, 4, 5).

En este caso, la estrategia en dos pasos *Ward-MLM* para el agrupamiento de observaciones utilizando varia-

bles cuantitativas y categóricas, constituyó una herramienta útil para clasificar el germoplasma de maíz cubano procedente de la colección nacional del cultivo. Esto le confiere importancia adicional a las variables categóricas, como complemento indispensable que contribuye a realizar más eficientemente la clasificación racial. Además, este procedimiento ha sido empleado para clasificar razas de maíz en Uruguay y Ecuador, donde se ha usado la estrategia *Ward-MLM* con éxito (6, 19) para clasificar genotipos en varias colecciones de maíz de América Latina (27).

Finalmente, este estudio evidenció la presencia de seis razas en la colección nacional: Criollo, Tusón, Canilla, Argentino, Amarillo reventador y Dulce. Criollo es la mejor raza representada en todo el país y la mayor variabilidad se aprecia en la región oriental, localizando todas excepto la Dulce en esta área de la isla. La caracterización actualizada del estatus de estas razas de maíz aporta una mayor información sobre el germoplasma cubano del cultivo. Además, se ofrecen elementos que permiten un mejor conocimiento y que, a su vez, apoyarán su conservación y uso adecuado en el marco de las estrategias nacionales y regionales.

REFERENCIAS

1. Betancourt-Menció, J. Tres razas cubanas de maíz de grano: Tusón, Canilla, Argentino. Tesis para la opción del grado: Candidato a Doctor en Ciencias Agrícolas. 1988, 100 p.
2. Hallauer, A. R. Plant Breeding: The Arnell R. Hallauer International Symposium (2003: Mexico City, Mexico). 2006, 520 p.
3. Collado, L., Pinedo, R. R., Chávez, J. L. y Sevilla, R. Diversidad genética de maíz en el Amazonas Central peruano. En: Barrandiarán-Gamarra, M.; A. Chávez-Cabrera, R. Sevilla-Panizo y T. Narro-León (Eds.) XX Reunión Latinoamericana de Maíz, 11-14 octubre 2004, Lima, p. 584-590.
4. Sevilla, R. Colecta y clasificación para programar la conservación *in situ* de la diversidad de maíz en la Amazonía peruana. En: Chávez-Servia, J. L., Sevilla-Panizo, R. (eds.). Fundamentos genéticos y socioeconómicos para analizar la agrobiodiversidad en la región de Ucayali. Seminario. (2003, ene 16: Pucallpa). Biodiversity International/INIA/CODESU, 2006. 93 p. ISBN-10: 92-9043-738-3, ISBN-13: 978-92-9043-738-3.
5. Taba, S.; Chávez V.; Krakowsky-Rincon, F. y Dreisigacker, S. Tropical late yellow maize germplasm development using improved lines and gene bank core accessions. En: CIMMYT Maize Germplasm Network Meeting. Global Maize Genetic Resources Conservation: A Workshop and Conservation, Management, and Networking. 2-5 May 2006, CIMMYT, El Batán: CIMMYT, p.28.
6. Gutiérrez, L.; Franco, J.; Crossa, J. y Abadie, T. Comparing a preliminary racial classification with a numerical classification of the maize landrace of Uruguay. *Crop Sci.*, 2003, vol. 43, no. 2, p. 718-727.
7. Anderson, E. y Cluter, H. C. Races of *Zea mays*. I. Their recognition and classification. *Ann. Mo. Bot. Gard.*, 1942, vol. 29, p. 69-88.

8. Hatheway, W. H. Races of maize in Cuba. Washington: National Academy of Sciences-National Research Council. 1957, 75 p.
9. Fernández, L.; Torres, M., Sánchez, M. y Rabí, O. El cultivo del maíz en Cuba. En: Barrandiarán-Gamarra, M., Chávez-Cabrera, A., Sevilla-Panizo, R. y Narro-León, T. (Eds.). Reunión Latinoamericana de Maíz (XX: 11-14 octubre, 2004, Lima), p. 56-61.
10. IPGRI. The design and analysis of evaluation trials of genetic resources collections. A guide for gene bank managers. IPGRI Technical Bulletin no. 4. Rome: Plant Genetic Resources Institute. 2001, 53 p.
11. CIMMYT/IBPGR. Listado de descriptores de maíz. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. 1991, 85 p.
12. IIHLD. Recomendaciones técnicas para el cultivo del maíz. 1997, 27p.
13. Franco, J.; Crossa, J., Díaz, J., Taba, S., Villaseñor, J. y Eberhart, S. A. Classifying genetic resources by categorical and continuous variables. *Crop Sci.*, 1998, vol. 38, p. 1688-1696.
14. Franco, J. y Crossa, J. The modified location model for classifying genetic resources: I. Association between categorical and continuous variables. *Crop Sci.*, 2002, vol. 42, p. 171-172.
15. Franco, J.; Crossa, J.; Taba, S. y Shands, H. A sampling strategy for conserving diversity when forming core subsets. *Crop Sci.*, 2005, vol. 45, p. 1035-1044.
16. Franco, J.; Crossa, J.; Warburton, M. y Taba, S. Diversity when forming core subsets using genetic markers. *Crop Sci.*, 2006, vol. 46, p. 854-864.
17. SAS. Institute Inc. SAS/STAT Version 8.2 Cary, NC, 2000.
18. Hallauer, A. R. y Miranda, J. B. Quantitative Genetics in Maize Breeding Ames IOWA: The IOWA State University Press. 1988, 468 p.
19. Yáñez, C.; Sánchez, V.; Caicedo, M.; Zambrano, J.; Franco, J. y Taba, S. La colección núcleo de los recursos genéticos de maíces de altura ecuatorianos. En: Barrandiarán-Gamarra, M.; A. Chávez-Cabrera, R. Sevilla-Panizo y T. Narro-León (Eds.) XX Reunión Latinoamericana de Maíz, 11-14 octubre 2004, Lima, p. 492-503.20.
20. Hodgkin, T. Some current issues in the conservation and use of plant genetic resources. p. 3-10. En: Ayad, W. G., Hodgkin, T. Jaradat, A. y Rao, V. R. (eds.) Molecular genetics techniques for plant genetic resources. Report of an IPGRI Workshop 9-11 October, 1995, Rome, Italy.
21. Abadie, T. y Berreta, A. Desarrollo de colecciones núcleo de maíz en el Cono Sur de América Latina: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay. Montevideo: PROCISUR/IICA. 2005, 90 p.
22. CIMMYT. Maize Germplasm Network Meeting. Global Maize Genetic Resources Conservation: A Workshop and Conservation, Management and Networking. 2-5 May 2006, El Batán: CIMMYT. 2006.
23. Martínez, V. R. Estación Experimental Agronómica de Santiago de las Vegas. 100 años de historia al servicio de la agricultura. La Habana: Ed. Tabacuba, 2004. 188 p.
24. Ortiz, R.; Rodríguez, S.; Cornide, M. T.; Gómez, O. y Espino, E. Recursos fitogenéticos: impacto de la introducción de plantas en el mejoramiento de los cultivos. En: Las investigaciones agropecuarias en Cuba cien años después. Editorial Científico-Técnica. 2006, 138-174 p.
25. MINAG. Listado Oficial de variedades. Agrinfor, 2008, 40 p.
26. Fernández, L.; Shagardosky, T.; Fundora, Z.; Giraudy, C.; Castiñeiras, L.; Suárez, C.; Barrios, R.; Fuentes, O.; Sánchez, V.; Moreno, P.; Puldón, V. y Pérez, F. El huerto casero: un reservorio para las razas de maíz (*Zea mays* L.) en la región oriental de Cuba. En: Barrandiarán-Gamarra, M.; Chávez-Cabrera, A., Sevilla-Panizo, R. y Narro-León, T. (Eds.). Reunión Latinoamericana de maíz (XX: 11-14 octubre 2004, Lima), p. 595-602.
27. Crossa, J. y Franco, J. Statistical methods for classifying genotypes. *Euphytica*, 2004, vol. 137, p. 19-37.

Recibido: 1 de julio de 2009

Aceptado: 23 de septiembre de 2009