

Caracterización de maíz procedente del departamento del Magdalena, Colombia

Characterization of corn from the department Magdalena, Colombia

Caracterização de milho procedente do departamento do Magdalena, Colômbia

Catherine Pardey-Rodríguez,¹ Mario Augusto García-Dávila,² Nataly Moreno-Cortés³

¹ PhD, Universidad Nacional de Colombia. Profesor asistente, Ingeniería Agronómica, Universidad del Magdalena. Santa Marta, Colombia. catherinepardey@unimagdalena.edu.co

² PhD, Universidad Nacional de Colombia. Profesor titular, Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. magarciada@unal.edu.co

³ Estudiante Programa de Ingeniería agronómica, Universidad del Magdalena. lanamo_@hotmail.com

Fecha de recepción 13/07/2015

Fecha de aceptación 24/02/2016

Para citar este artículo: Pardey-Rodríguez C, García-Dávila MA, Moreno-Cortés N. Caracterización de maíz procedente del departamento del Magdalena-Colombia. Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria. 17(2):167-190

Resumen

El Grupo de Investigación Mejoramiento Genético Vegetal Tropicales de la Universidad del Magdalena posee varias introducciones de maíz originarias del Caribe colombiano; se seleccionaron 13, las cuales fueron donadas por la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, con pasaporte del departamento del Magdalena. Las introducciones se caracterizaron para estudiar la variabilidad fenotípica. La siembra se realizó en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, ubicada en la ciudad de Santa Marta; bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; se sembraron 20 plantas por introducción y se evaluaron 5 de ellas por unidad experimental y se estudiaron 28 caracteres morfológicos. Se realizó un análisis de

varianza, de frecuencias, de componentes principales, discriminante y de agrupamiento. Este mostró diferencias significativas entre introducciones para la mayoría de las variables, lo que se considera un indicador de diversidad. Los análisis de componentes principales y de agrupamiento, diferenciaron a las muestras en cinco conjuntos; al interior de los grupos se presentó una diferencia gradual y continua de caracteres. Los genotipos mostraron similitud genética con la introducción 91, el mayor distanciamiento genético se dio con el híbrido comercial Synko. El agrupamiento de las introducciones por municipio, mostró la tendencia de ubicar el desplazamiento de las introducciones, desde el municipio de Fundación como punto de partida.

Palabras clave: *Zea mays*, morfología, distancia genética, fenotipos

Abstract

The Research Group of Tropical Plant Breeding of Magdalena University has several corn introductions original from the Colombian Caribbean; 13 of them were selected, which were donated by the National University of Colombia Campus Palmira, with original passport data from the department of Magdalena. The introductions were characterized to study the phenotypic variability. Sowing was done at the Center for Agricultural and Forestry Development of the University of Magdalena, located in the city of Santa Marta, following a randomized complete blocks design with three replications; 20 plants per introduction were planted and 5 of them were assessed per experimental unit.

Twenty eight descriptors were studied. Analyses of variance, frequencies main component, multiple, discriminant, and cluster were performed. Statistical differences among introductions for most of the variables were detected and it is considered as an indicator of diversity. The main components and cluster divided the sample in five sets; there was a gradual and continuous difference in characters inside the groups. The genotypes showed a genetic similarity with introduction 91, the largest genetic distance was with the Synko commercial hybrid. By sorting introductions by municipality, the trend to point out Foundation as the starting point was a trend and is likely that dispersion occurred from there.

Keywords: *Zea mays*, Morphology, Genetic distance, Phenotypes

Resumo

O Grupo de Pesquisa Melhoramento Genético Vegetal Tropical da Universidade do Magdalena possui várias introduções de milho originárias do Caribe Colombiano; Seleccionaram-se 13, as quais foram doadas pela Universidade Nacional da Colômbia Sede Palmira, com passaporte do departamento do Magdalena. As introduções se caracterizaram para estudar a variabilidade fenotípica. A semeadura se realizou no Centro de Desenvolvimento Agrícola e Florestal da Universidade do Magdalena, localizada na cidade de Santa Marta; baixo um delineamento experimental de blocos completos ao acaso com três repetições; semearam-se 20 plantas por introdução e avaliaram-se 5 de elas por unidade experimental e se estudaram 28 caracteres morfológicos.

Realizou-se um método de ANOVA, de frequências, de componentes principais, discriminante e de agrupamento. Este mostrou diferenças significativas entre introduções para a maioria das variáveis, o que se considera um indicador de diversidade. As análises de componentes principais e de agrupamento, diferenciaram às amostras em cinco conjuntos; ao interior dos grupos se apresentou uma diferença gradual e contínua de caracteres. Os genótipos mostraram similaridade genética com a introdução 91, o maior distanciamento genético deu-se com o híbrido comercial Synko. O agrupamento das introduções por município, mostrou a tendência de localizar o deslocamento das introduções, desde o município de Fundação como ponto de partida.

Palavras chave: *Zea mays*, morfologia, distância genética, fenotipos

Introducción

El maíz, en la costa Caribe colombiana, se siembra por varias etnias indígenas: Chimila, Wayuu, Kogui, Arzario, Arhuaco, Yuco, Zenú, Tule, Embera; todas ellas lo tienen como una especie vegetal para garantizar la seguridad alimentaria; estas comunidades poseen gran diversidad de maíces que siembran al voleo y a chuzo (Vélez 2002). Los rendimientos no alcanzan ni la media tonelada por hectárea, situación que se presenta también en las comunidades aisladas de México (Ramírez-Moreno y Vega-Valdivia 2004); las razones de este bajo rendimiento se deben a los suelos pobres y degradados y a la baja precipitación pluvial (régimen de lluvias mal distribuido) (Ángeles-Gaspar et al. 2010). Los genotipos locales se siembran sin alterar el agroecosistema; sin embargo, algunos productores han adoptado semillas mejoradas, que han provocado variabilidad genética en algunas de las variedades criollas (introgresión) (Posada 2010).

El desempeño y la adaptabilidad de los genotipos criollos con respecto a los mejorados se atribuye a que estos últimos expresan su productividad cuando están bajo condiciones óptimas de fertilización, humedad, manejo agronómico, control de plagas y enfermedades, ambiente similar donde fueron obtenidos en campos experimentales. Los genotipos criollos poseen comportamiento agronómico adaptado al ambiente a causa de la variación intra-poblacional, genes que se pueden aprovechar con fines de mejoramiento genético para áreas de su mismo origen. Para promover la conservación *in situ* de los genotipos criollos locales, es necesario conocer la diversidad del maíz y qué mejor si es en las condiciones tradicionales de agricultura.

En Colombia, hay reportes de trabajos con razas criollas, entre ellos Torregrosa (1957) investigó con razas de maíz procedentes de la costa Caribe; Ligarreto et al. (1998), estudiaron razas andinas; Posada (2010) incluyó maíces de varias zonas de Colombia, como las Caribe y Andina, y Aramendiz et al. (2005) maíces criollos de la región Caribe. Los primeros análisis exploratorios de diversidad fueron realizados por Roberts et al.

(1957) quienes reconocieron 23 razas en Colombia, agrupadas en tres categorías: razas primitivas, razas introducidas y razas híbridas. Estos autores identificaron además, cuatro factores de evolución que contribuyeron a la formación de dichas razas en Colombia: aislamiento geográfico, hibridación interracial, hibridación con maíces contaminados con teocintle procedente de México e hibridación del maíz con *Tripsacum*; este trabajo lo referencia Cardona (2010) quien retoma los datos de Roberts et al. (1957) para hacer análisis de diversidad genética con otras herramientas estadísticas y encontró pocas diferencias a lo reportado en 1957.

México es considerado centro de diversidad del maíz y cuenta con estudios de caracterización de razas desde 1951 hasta la fecha (Wellhausen et al. 1951). Todos los estudios concuerdan que existe variabilidad morfológica entre y dentro de razas que se hace necesario conservar (Hortelano- Santa Rosa et al. 2008; Guillén et al. 2014; Flores-Pérez et al. 2015).

Los problemas que se han señalado para lograr una clasificación clara de las variedades con base en aspectos morfológicos y genéticos, son varios; se dice que no existe una línea divisoria clara entre las razas ni es continua. La diversidad que se conoce es atribuida a la variedad de climas en los que se cultiva el maíz, a la fijación de ciertos fenotipos debido a los usos que se le dan, el intercambio de semillas y la principal de todas: el sistema de reproducción que depende de la polinización cruzada (Flores-Pérez et al. 2015).

En la región tropical de Colombia, el maíz se siembra en áreas relativamente pequeñas, ricas en diversidad genética, esto favorece que exista una mayor segregación, expresión genética, adaptaciones específicas, alta variabilidad y creación de nuevas formas. Explorar la diversidad genética es tarea fundamental en los programas de investigación agrícola (Cardona 2010).

Con la donación de este germoplasma de maíz, se propone realizar una caracterización morfológica para identificar su variabilidad genética; la hipótesis

que se plantea es que existe amplia diversidad entre los genotipos de maíz de las comunidades indígenas del Magdalena.

Materiales y métodos

La caracterización morfológica se realizó en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, ubicado en el municipio de Santa Marta, departamento del Magdalena; geográficamente, se encuentra entre las coordenadas 74° 07" y 74° 12" de longitud oeste; y entre los 11° 11" y 11° 15" de latitud norte, temperatura media de 24 a 28 °C, humedad relativa que oscila entre el 72 y 79%, velocidad promedio del viento de 3 km/ha, precipitación máxima por mes de 98 mm (en el mes de octubre que fue el más lluvioso) (Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrológicas del Caribe 2011), altitud de 15 msnm, pH de neutro a moderadamente alcalino, fertilidad del suelo de moderada a baja, textura franco, arcilloso arenoso (Vásquez 2009).

Se evaluaron 12 introducciones de maíz de la Colección de Trabajo del Grupo de Investigación en Recursos Genéticos Neotropicales de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira con pasaporte

del departamento del Magdalena, Colombia. La donación a la Universidad del Magdalena fue de 100 semillas por introducción. La siembra se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones, 13 tratamientos que fueron 12 genotipos criollos y el híbrido comercial Synko (tabla 1). Cada genotipo se sembró en un surco de 2 metros de largo por 80 cm de distancia entre surco. En cada surco se sembraron 20 semillas. Por cada unidad experimental se evaluaron cinco plantas en plena competencia; para los descriptores época de floración, se tuvieron en cuenta todas las plantas del surco: plantas enfermas, hijuelos y cobertura de la mazorca. La preparación del terreno se efectuó mediante un pase de arado y dos rastrilladas y el control de malezas se hizo en forma manual y mecánica. La fertilización se ajustó para un rendimiento de 4,5 t/ha según el análisis de suelo, para alcanzar los niveles de: 170 kg/ha en NO₃, 35 kg/ha en H₂PO₄, 175 kg/ha en K₂O, 35 kg/ha en Ca²⁺, 40 kg/ha en Mg²⁺, 20 kg/ha en S-SO₄.

La caracterización morfológica se realizó tomando descriptores de estado vegetativo, floración, fructificación y asociados a la mazorca (tabla 2). Se trabajaron 28 descriptores propuestos para maíz por el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y del Trigo y el International Board for Plant Genetic Resources (1991).

Tabla 1. Datos de pasaporte de 13 introducciones de maíz procedentes del departamento del Magdalena, Colombia

Entrada	Origen UNal Palmira*	No BG**	Departamento	Municipio	Longitud O°	Latitud N°	msnm	Raza	Color de semilla
11	PM-08-A	ZmColCIM 3132	Magdalena	Fundación	74,11	10,31	53	Cariaco	Amarillo
34	PM-08-A	ZmColCIM 3125	Magdalena	San Pedro de la Sierra	74,02	10,5424	1.397	Güirua	Morado y amarillo

(Continúa)

(Continuación tabla 1)

Entrada	Origen UNal Palmira*	No BG**	Departamento	Municipio	Longitud O°	Latitud N°	msnm	Raza	Color de semilla
35	PM-08-A	ZmColCIM 3121	Magdalena	San Pedro de la Sierra	74,02	10,5424	1.397	Güirua	Morado y amarillo
87	UNal/GIRFI N 08	ZmMagColCIM 1001	Magdalena	Pivijay	74,23	10,27455	24	Clavo	Amarillo
88	UNal/GIRFI N 08	ZmMagColCIM 1002	Magdalena	Fundación	74,11	10,31231	49	Clavo	Amarillo
89	UNal/GIRFI N 08	ZmMagCol 1003	Magdalena	Fundación	74,11	10,31236	62	Carioco	Amarillo
90	UNal/GIRFI N 08	ZmMagCol 1004	Magdalena	Fundación	74,11	10,31236	62	Clavo	Amarillo
91	UNal/GIRFI N 08	ZmMagCol 1005	Magdalena	Fundación	74,11	10,31236	62	Clavo	Blanco
92	UNal/GIRFI N 08	ZmMagCol 1006	Magdalena	Ciénaga	74,05	10,53591	65	Clavo	Amarillo
3202	-	ZmMagColCIM 3202	Magdalena		-	-	-	Clavo	Amarillo
3203	-	ZmMagCol 3203	Magdalena		-	-	-	Clavo	Amarillo
3199	-	ZmMagCol 3199	Magdalena		-	-	-	Carioca	Morado
Synko	Híbrido comercial	Híbrido	Caribe	Magdalena	-	-	-	Híbrido	Amarillo

* Numeración de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira

**Numeración en la base de datos de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Variables fenológicas y morfológicas registradas

		Descriptores del maíz		
		Vegetativos	Cualitativa	Cuantitativa
1	Días a 50 % de floración masculina			X
2	Días a 50 % de floración femenina			X
3	Color del tallo en momento de floración		X	
4	Número de hojas de la planta			X
5	Abundancia del follaje		X	
6	Ancho de la hoja			X
7	Altura de la planta cuando el grano este lechoso			X
8	Altura de la mazorca			X
9	Acame antes de cosecha			X
10	Planta enferma			X
11	Hijuelos			X
		Mazorca		
12	Cobertura de la mazorca		X	
13	Forma de la mazorca		X	
14	Disposición de la hilera		X	
15	Peso de 100 granos			X
16	Peso de la tusa			X
17	Peso de la mazorca			X
18	Longitud de la mazorca			X
19	Ancho de la mazorca			X
20	Número de granos por hilera			X
21	Número de hileras por mazorca			X
22	Ancho del grano			X
23	Longitud del grano			X
24	Grosor del grano			X
25	Color del grano		X	
26	Forma de la superficie del grano		X	
27	Color de la hurona		X	
28	Color del endospermo		X	

Fuente: Elaboración propia

Análisis estadístico

A los 9 descriptores cualitativos se les realizó un análisis de frecuencia para cada categoría; y a los 19 descriptores cuantitativos se les hizo un análisis de frecuencia con respecto a la media y a la desviación estándar para categorizar las introducciones; igualmente, se les realizó un análisis univariado con un modelo lineal de bloques completos al azar, para identificar variabilidad entre las introducciones. Se realizó un análisis de componentes principales recurriendo al procedimiento Princomp de SAS versión 9.3, para determinar las características con mayor contribución a la explicación de la diversidad (Nakos y Joyner 1999). Se realizó un análisis de agrupamiento con todas las variables y sus valores fueron convertidos a unidades estándar, con el fin de que cada variable tuviera un peso igual en el procedimiento; para el criterio de proximidad, se utilizó la distancia mínima insesgada de Nei y el dendograma se construyó con el programa NTSYS por el método de agrupamiento Upgma. Se realizaron dos análisis discriminantes con todas las variables; uno, para establecer la pertenencia probabilística de ubicar la introducción en alguna de las otras introducciones; otro discriminante, para establecer la pertenencia probabilística de ubicar los municipios en alguna de los otros municipios; se utilizó como criterio de clasificación la distancia de Mahalanobis.

Se realizó una figura con las distancias cuadradas generalizadas por municipio tomadas del segundo análisis discriminante.

Resultados y discusión

Caracterización morfológica

Las características cualitativas presentaron variación dentro de las categorías de cada descriptor. Hubo una tendencia de los materiales a tener follaje mediano y alto, presentar color de tallo verde; las introducciones 34 y 89 presentaron vetas de color morado en el tallo, indicador de antocianinas. La forma de la mazorca tiende a ser cónica y tres introducciones (34, 87 y 92) presentaron descubierta la punta de la mazorca, esta característica es desfavorable, porque permite la entrada de hongos e insectos al grano. La disposición de las hileras tiende a ser recta y los colores del grano amarillo; la introducción 3199 fue de color morado junto con las 34 y 35, las cuales presentaron mezcla de colores: blanco, amarillo y morado. La superficie del grano tendió a ser dentado; los granos morados fueron redondos. El color de la aleurona tendió a ser amarillo, el endospermo fue blanco y amarillo, el blanco coincidió para las introducciones de grano morado (tabla 3).

Tabla 3. Análisis de frecuencia para las características cualitativas de 13 introducciones de maíz procedentes del departamento del Magdalena

Característica	Clase (tipo)	Accesiones	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
Abundancia del follaje	Poco (3)	11-34-35-92-Synko	5	38,46	5	38,46
	Intermedio (5)	89-90-91-3202-3203	5	38,46	10	76,92
	Abundante (7)	87-88-3199	3	23,08	13	100
Color del tallo	Verde (1)	Todos	13	100	13	100
Forma de la mazorca	Cilíndrica (1)	92	1	7,69	1	7,69
	Cónica (2)	11-34-35-87-88-90-91-3202-3203-3199	10	76,92	11	84,62
	Esférica (3)	89-Synko	2	15,38	13	100

(Continúa)

(Continuación tabla 3)

Característica	Clase (tipo)	Accesiones	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
Cobertura de la mazorca	Descubierto en punta (5)	34-87-92	3	23,08	3	23,08
	Completa (7)	11-35-88-89-90-91-3201-3203-3199-Synko	10	76,92	13	100
Disposición de la hilera del grano	Recta (2)	11-34-35-87-88-90-91-92-3202-3203-3199-Synko	12	92,31	12	92,31
	Espiral (3)	89	1	7,69	13	100
Color de grano	Amarillo (1)	11-87-88-89-90-92-3203-Synko	8	61,52	8	61,52
	Amarillos y blancos (2)	3202	1	7,69	9	69,21
	Blanco (3)	91	1	7,69	10	76,9
	Morados, amarillos (4)	34-35	2	15,38	12	92,28
	Morado (8)	3199	1	7,69	13	100
Superficie del grano	Dentado (1)	88-90-91-92-3202-3203	6	46,14	6	46,14
	Plano(2)	11-35--3199	3	23,08	9	69,22
	Redondo (3)	34-87-89-Synko	4	30,76	13	100
Color de la aleurona	Amarillo(1)	11-87-88-89-90-92-3203-Synko	8	61,52	8	61,52
	Blanco (2)	3202-91	2	15,38	10	76,9
	Oscuro(3)	3199	1	7,69	11	92,28
	Mezcla(4)	34-35	2	15,38	13	100
Color del endospermos	Blanco (1)	34-35-90-3199-3202-3203	6	46,14	6	46,14
	Amarillo (2)	11-87-88-89-91-92-Synko	7	53,85	13	100

Fuente: Elaboración propia

Las características cuantitativas se categorizaron de acuerdo con el valor de la media y la desviación estándar (tabla 4); se encontraron pocas introducciones en los valores extremos. El conteo de hojas mostró materiales con abundante follaje, más de 14 hojas, y con buen ancho de hoja; nueve genotipos superaron 2,30 m de altura, igualmente, la ubicación de la mazorca es alta; pocas introducciones tienen mazorcas largas, solo cinco superaron los 20 cm; en

general, se encontró que las variedades de maíces amarillos y blancos presentan longitud de mazorcas más largas que las variedades de colores. Las mazorcas tienden a ser delgadas, presentar menos de 30 granos/hilera y poseer 12 o 14 hileras, además de granos pequeños y de bajo peso; los materiales presentaron problemas de volcamiento, propios de la altura de la planta y de la zona con fuertes vientos, ataque de plagas y enfermedades; se registró brote

de hijuelos. Aparecieron introducciones precoces a floración y otras tardías comparadas con el testigo comercial Synko que superó los 60 días después de siembra. La precocidad se hizo presente tanto en introducciones moradas (3199) como blancas (89).

En la mayoría de las introducciones, el tamaño de los granos varía entre mediano y pequeño, con excepción del maíz cariaco (11, 89, 3199) que presenta granos grandes. En general, todo el germoplasma mostró granos dentados, planos y redondos.

Tabla 4. Análisis de frecuencia para las características cuantitativas de 13 introducciones de maíz procedentes del departamento del Magdalena

Característica	Clase	Introducción	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
Hojas (unidades)	Menos de 14 (1)	11-34-35-89-3199	5	38,46	5	38,46
	Más de 15 (2)	87-90-92-3202-Synko-87-91-3203	8	61,54	13	100
Ancho de la hoja (cm)	Menor a 8,60 (1)	35	1	7,69	1	7,69
	8,61 a 9,45 (2)	11-34-87-89-90-91-92-3202-99	10	76,92	11	84,62
	Mayor a 9,46 (3)	88-3203	2	15,38	13	100
Altura de la planta (m)	Menor a 1,74 (1)	89-Synko	2	15,38	2	15,38
	1,75-2,29 (2)	11-3199	2	15,38	4	30,77
	Mayor a 2,30 (3)	34-35-87-88-90-91-92-3202-3203	9	69,23	13	100
Altura de la primer mazorca (cm)	Menor a 0,99 (1)	11-3199	3	23,08	3	23,08
	Entre 1 y 1,38 (2)	87-89-3203	3	23,08	6	46,15
	Mayor a 1,38 (3)	34-35-88-90-91-92-3202	7	53,85	13	100
Longitud de la mazorca (cm)	Menor a 13,73 (1)	11- 89-3199	3	23,08	3	23,08
	13,73 a 19,84 (2)	35-87-90-92-Synko	5	38,46	8	61,54
	Mayor a 19,85 (3)	34-88-91-3203-3202	5	38,46	13	100
Ancho de la mazorca (cm)	Menor a 3,31 (1)	35-92	2	15,38	2	15,38
	3,32 a 3,68 (2)	34-87-91-3202-3203-3199	6	46,15	8	61,54
	3,79 a 4,04 (3)	88-11-90-Synko	4	30,77	12	92,31
	Mayor a 4,04 (4)	89	1	7,69	13	100

(Continúa)

(Continuación tabla 4)

Característica	Clase	Introducción	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
Granos/hilera (unidades)	Menor a 22 (1)	89-92	2	15,38	2	15,38
	23 a 27 (2)	11-35-90-3199	4	30,77	6	46,15
	28 a 31 (3)	34-87-91-3202	4	30,77	10	76,92
	Mayor a 32 (4)	88-3203-Synko	3	23,08	13	100
Hilera/mazorca (unidades)	Menor a 12 (1)	35-88-90-3202-3203	5	38,46	5	38,46
	14 (2)	11-34-87-91-92-3199	6	46,15	11	84,62
	Mayor a 16 (3)	89-Synko	2	15,38	13	100
Ancho del grano (mm)	Menor a 0,62 (1)	34-92-Synko	3	23,08	3	23,08
	0,63 a 0,68 (2)	35-87-91-3199	4	30,77	7	53,85
	0,69 a 0,73 (3)	11-90-3202-3203	4	30,77	11	84,62
	Mayor a 0,73 (4)	88-89	2	15,38	13	100
Longitud del grano (mm)	Menor a 0,83 (1)	35	1	7,69	1	7,69
	0,84 a 0,91 (2)	87-92-3199	3	23,08	4	30,77
	0,92 a 1 (3)	11-34-88-89-3202-3203-Synko	7	53,85	11	84,62
	Mayor a (4)	90-91	2	15,38	13	100
Grosor del grano (mm)	Menor a 0,42 (1)	35-87	2	15,38	2	15,38
	0,42 a 0,49 (2)	34-11-88-90-3199	5	38,46	7	53,85
	0,50 a 0,55 (3)	91-3202-3203	3	23,08	10	76,92
	Mayor a 0,55 (4)	89-92-Synko	3	23,08	13	100
Peso de 100 granos (g)	Menor a 12,83 (1)	87-92	2	15,38	2	15,38
	12,84 a 17,35 (2)	11-34-89-3202-3203	5	38,46	7	53,85
	17,36 a 21,85 (3)	35-88-3199-Synko	4	30,77	11	84,62
	Mayor a 21,86 (4)	90-91	2	15,38	13	100
Peso de la tusa (g)	Menor a 13,19 (1)	92	1	7,69	1	7,69
	13,2 a 22,8 (2)	11-34-89-90-32303-3199	6	46,15	7	53,85
	22,81 a 32,42 (3)	35-88-91-3202	4	30,77	11	84,62
	Mayor a 32,43 (4)	87-Synko	2	15,38	13	100

(Continúa)

(Continuación tabla 4)

Característica	Clase	Introducción	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
Peso de la mazorca (g)	Menor a 24,55 (1)	34-35-92	3	23,08	3	23,08
	24,56 a 40,58 (2)	11-87-89-3203	4	30,77	7	53,85
	40,59 a 56,51 (3)	90-91-3202 3199	4	30,77	11	84,62
	Mayor a 56,52 (4)	88-Synko	2	15,38	13	100
Acame (%)	Menor a 0,82 (1)	88-Synko	2	15,38	2	15,38
	0,82 a 6,03 (2)	11-87-89-90-91-3203	6	46,15	8	61,54
	6,04 a 11,23 (3)	34-3202-3199	3	23,08	11	84,62
	Mayor a 11-24 (4)	35-92	2	15,38	13	100
Plantas enfermas (%)	Menor a 4-21 (1)	35-Synko	2	15,38	2	15,38
	4-22 a 12-08 (2)	11-34-87-88-89-90-913199	8	61,54	10	76,92
	12-08 a 19-93 (3)	3202	1	7,69	11	84,62
	Mayor a 19-94 (4)	92-3203	2	15,38	13	100
Hijuelos en planta (%)	0 (1)	35-89-91-92-3202-Synko	6	46,15	6	46,15
	1 a 2-76 (2)	87-90-3199	3	23,08	9	69,23
	2-77 a 6-82 (3)	88-3203	2	15,38	11	84,62
	Mayor a 6-83 (4)	11-34	2	15,38	13	100
Días a floración masculina (días)	Menor a 53 (1)	11-3199	2	15,38	2	15,38
	54 a 56 (2)	89-3202	2	15,38	4	30,77
	57 a 59 (3)	35-87-88-90-91-92-3203	7	38-48	11	69,25
	Más a 60 (4)	34-Synko	2	15-38	13	100
Días a floración femenina (días)	Menor a 57 (1)	11-3199	2	15,38	2	15,38
	58 a 62 (2)	89-91-Synko	3	23,08	5	38,46
	63 a 66 (3)	87-88-90-92-3202-3203	6	46,15	11	84,62
	Más de 66 (4)	34-35	2	15,38	13	100

Fuente: Elaboración propia

El análisis de varianza indicó que se presentaron diferencias altamente significativas en las características (tabla 5); solo dos descriptores no presentaron diferencias estadísticas: acame e hijuelos; lo que significa que los problemas de acame y macollamiento posiblemente se puedan presentar en cualquier genotipo criollo indistintamente.

De acuerdo con el estudio de la variabilidad morfológica, entre las introducciones en las que se tomaron como base los coeficientes de variación (CV), las variables se reunieron en tres grupos (tabla 5):

a) Aquellos con valores de CV menores a 13,5, están las características de días a floración masculina y femenina. Este descriptor, pesar de presentar un valor pequeño (CV = 4,7 y CV = 6,2), biológicamente es variable al encontrar diferencias en la floración entre 8 y 15 días, que repercuten en la polinización y formación del grano; la precocidad es una característica importante para los programas de mejoramiento, sobre todo cuando se planea hacer cruzamientos entre los parentales (Pardey 2015). Otra característica es la altura de la planta, el CV es 13,5%; biológicamente tener un rango de altura de 80 cm entre las introducciones sí influye en la variabilidad de genotipos; este mismo valor de CV se obtuvo para grosor del grano, que sí influye en la selección; a diferencia

de los CV de las características asociadas a las dimensiones del largo y ancho el grano (CV = 7,6 y CV = 9,5), muestran similitud entre las introducciones, estas son de mazorcas con granos pequeños.

b) En el segundo grupo de características morfológicas con CV entre 16 y 42 están las características asociadas a la mazorca; estas características son importantes en los programas de mejoramiento para buscar variabilidad. La altura de la mazorca, su longitud, el número de hileras de grano y la cantidad de granos formados y su peso, son características que se tienen en cuenta. Se recomienda valorar nuevamente la característica de longitud de pedúnculo porque, al momento de la cosecha de las mazorcas, es importante arrancar desde la base y no fracturar el pedúnculo a media caña.

c) El tercer grupo de variables que obtuvo alto coeficiente de variación (entre 65,0 y 146,7%) son: el acame, el porcentaje de plantas enfermas y los hijuelos, estas características están relacionadas con el volcamiento de la planta ya sea por el viento, el agua o la falta de aporque para fortalecer el crecimiento de las raíces adventicias; el ataque de plagas y enfermedades no discriminó entre genotipos criollos y el control fitosanitario se debe mantener desde el inicio de la siembra.

Tabla 5. Cuadrados medios y estadística descriptiva para características cuantitativas de 13 introducciones de maíz procedente del departamento del Magdalena

Variable	Media	Coefficiente variación	Dev. tip.	Mínimo	Máximo	Varianza	Cuadrado medio
# hojas	14,2	6,5	0,9	12,9	16,2	0,9	21,49**
Ancho hoja (cm)	9,0	4,7	0,4	8,4	9,8	0,2	4,00**
Altura planta (m)	2,0	13,5	0,3	1,6	2,4	0,1	0,88**
Altura mazorca (cm)	1,2	16,2	0,2	0,8	1,4	0,0	0,27**
Longitud pedúnculo (cm)	5,1	20,7	1,1	2,7	6,5	1,1	14,12**

(Continúa)

(Continuación tabla 5)

Variable	Media	Coefficiente variación	Dev. tip.	Mínimo	Máximo	Varianza	Cuadrado medio
Longitud mazorca (cm)	16,8	18,2	3,1	11,5	20,1	9,3	135,47**
Ancho mazorca (cm)	3,7	9,9	0,4	3,1	4,3	0,1	1,50**
Granos /hilera	27,2	16,9	4,6	18,5	33,5	21,1	378,04**
Hileras /mazorca	13,5	10,8	1,5	12,0	16,0	2,1	18,29**
Ancho grano (cm)	0,7	7,6	0,1	0,6	0,8	0,0	0,46**
Longitud grano (mm)	0,9	9,5	0,1	0,7	1,0	0,0	0,7**
Grosor grano (mm)	0,5	13,5	0,1	0,4	0,6	0,0	0,002**
Pesos 100 granos (g)	17,4	26,0	4,5	10,7	27,0	20,3	181,00**
Peso tusa (g)	22,8	42,2	9,6	7,9	47,4	92,5	624,97**
Peso mazorca (g)	40,6	39,2	15,9	20,1	73,0	253,6	10829,88**
Acame (%)	6,0	86,3	5,2	0,0	15,8	27,1	650,25 ^{ns}
Planta enferma (%)	12,1	65,0	7,9	0,0	23,5	61,7	412,92**
Hijuelos (%)	2,8	146,7	4,1	0,0	13,3	16,5	255,20 ^{ns}
Días floración ♂	55,8	4,7	2,6	50,4	58,5	7,0	85,70**
Días floración ♀	62,8	6,2	3,9	54,9	69,2	14,9	138,34**

** Altamente significativos

^{ns} No significativos

Fuente: Elaboración propia

Los coeficientes de correlación de Pearson altamente significativos se hallaron para la característica altura de la planta con altura de la mazorca, altura de la planta con longitud de la mazorca, longitud de la mazorca con granos por hilera, ancho de la hoja con ancho del grano, longitud del grano con peso de 100 granos y días a floración masculina con días a floración femenina. Las anteriores características son de tipo determinístico, es decir, dado un valor de una de las variables, el de la otra variable se determina

automáticamente; pero, en estadística se presentan relaciones de variables aleatorias y, por tanto, una de las variables no queda determinada por completo por otra u otras. Correlaciones inversas y altamente significativas se dieron en acame con ancho de mazorca y, a su vez, con longitud del grano (tabla 6), no se encontró correlaciones significativas entre acame con plantas enfermas, esto significa que son variables no asociadas.

Tabla 6. Coeficientes de correlación Pearson para las 13 introducciones de maíz procedentes del departamento del Magdalena-Colombia

Prob > r suponiendo H0: Rho=0 N=13									
	Número de hojas	Ancho hoja	Altura planta	Altura mazorca	Longitud pedúnculo	Longitud mazorca	Ancho mazorca	Granos/hilera	Hilera/mazorca
Número de hojas	1	0,538	0,685	0,437	0,137	0,671	-0,12	0,496	-0,32
		0,058	0,01	0,135	0,656	0,012	0,697	0,085	0,286
Ancho hoja		1	0,437	0,306	0,117	0,503	0,188	0,364	-0,415
			0,136	0,309	0,703	0,08	0,538	0,221	0,159
Altura planta			1	0,889	0,6	0,785	-0,602	0,375	-0,737
				<,0001	0,03	0,002	0,03	0,207	0,004
Altura mazorca				1	0,567	0,653	-0,578	0,118	-0,588
					0,044	0,016	0,039	0,702	0,035
Longitud pedúnculo					1	0,53	-0,58	0,241	-0,527
						0,063	0,038	0,428	0,064
Longitud mazorca						1	-0,232	0,728	-0,459
							0,445	0,005	0,114
Ancho mazorca							1	0,087	0,51
								0,777	0,075
Granos/hilera								1	-0,371
									0,212
Hilera/mazorca									1
Ancho grano									
Longitud grano									
Grosor grano									
Peso 100 granos									
Peso tusa									
Peso mazorca									
Acame									
Planta enferma									
Hijos									
Días a flor masculina									
Días a flor femenina									

Fuente: Elaboración propia

Ancho grano	Longitud grano	Grosor grano	Peso 100 granos	Peso tusa	Peso mazorca	Acame	Planta enferma	Hijos	Días a flor masculina	Días a flor femenina
0,086	0,404	0,113	0,317	0,144	0,225	-0,31	0,647	-0,131	0,371	0,113
0,78	0,171	0,712	0,291	0,638	0,459	0,301	0,017	0,67	0,212	0,714
0,709	0,446	0,216	0,189	-0,04	0,16	-0,53	0,627	-0,071	0,181	0,115
0,007	0,127	0,479	0,537	0,898	0,602	0,063	0,022	0,817	0,553	0,709
0,006	-0,11	-0,2	0,002	-0,25	-0,331	0,257	0,639	-0,169	0,472	0,623
0,985	0,71	0,523	0,995	0,41	0,27	0,396	0,019	0,582	0,103	0,023
0,026	-0,08	-0,11	0,056	-0,44	-0,451	0,341	0,509	-0,099	0,309	0,637
0,933	0,786	0,721	0,857	0,13	0,122	0,254	0,076	0,748	0,304	0,019
-0,28	-0,33	-0,22	-0,142	-0,08	-0,177	0,491	0,23	-0,504	0,503	0,649
0,348	0,278	0,464	0,643	0,786	0,563	0,088	0,45	0,079	0,079	0,016
-0,09	0,13	0,116	0,117	0,093	-0,035	0,005	0,514	-0,179	0,634	0,634
0,776	0,673	0,706	0,703	0,763	0,909	0,987	0,072	0,559	0,02	0,02
0,438	0,682	0,355	0,465	0,515	0,555	-0,84	-0,418	0,14	-0,166	-0,383
0,135	0,01	0,233	0,109	0,072	0,049	0	0,155	0,648	0,587	0,197
-0,13	0,115	-0,2	0,171	0,563	0,383	-0,26	0,213	0,086	0,452	0,332
0,683	0,708	0,506	0,578	0,045	0,196	0,398	0,484	0,78	0,121	0,268
-0,21	0,245	0,589	-0,051	0,269	0,201	-0,29	-0,36	-0,048	-0,134	-0,419
0,492	0,421	0,034	0,87	0,375	0,51	0,344	0,227	0,877	0,662	0,154
1	0,394	0,203	0,308	-0,21	0,173	-0,55	0,131	0,093	-0,301	-0,245
	0,183	0,506	0,306	0,496	0,572	0,054	0,669	0,763	0,317	0,42
	1	0,416	0,7	0,201	0,508	-0,76	0,105	0,129	-0,083	-0,327
		0,158	0,008	0,51	0,076	0,003	0,733	0,675	0,787	0,275
		1	0,118	-0,1	0,13	-0,27	0,07	-0,347	0,062	-0,183
			0,701	0,742	0,673	0,364	0,82	0,246	0,841	0,549
			1	0,166	0,592	-0,47	-0,282	-0,041	-0,149	-0,174
				0,587	0,033	0,106	0,35	0,894	0,628	0,569
				1	0,615	-0,56	-0,306	-0,17	0,181	-0,057
					0,025	0,049	0,31	0,578	0,554	0,853
					1	-0,59	-0,231	-0,077	-0,255	-0,545
						0,033	0,448	0,802	0,4	0,054
						1	-0,013	-0,071	0,057	0,329
							0,967	0,819	0,852	0,273
							1	0,1	0,281	0,156
								0,745	0,352	0,612
								1	-0,32	-0,272
									0,287	0,369
									1	0,779
										0,002
										1

La variabilidad morfológica de las 13 introducciones, explicada por componentes principales, se dio en cinco componentes que representan el 82,8 % de la variabilidad inicial (tabla 7). En el primer componente (31,8 %), las diferencias entre las introducciones se dan preponderantemente por la altura de la planta, la altura de la mazorca, la longitud del pedúnculo, el largo de la mazorca y los días a la floración masculina

y femenina. El segundo (23,1 %), lo conforman principalmente características relacionadas con el desarrollo vegetativo y características del grano. El tercero (12,4 %), lo da en mayor medida el peso de la tusa. En el cuarto (8,9 %), tienen mayor influencia las hileras por mazorca y el grosor de los granos; y el quinto (6,6 %) se forma principalmente por la presencia de hijuelos y plantas enfermas.

Tabla 7. Vectores característicos, valor característico y proporción de varianzas para los cinco primeros componentes principales de 28 variables registradas de 13 introducciones de maíz procedentes del departamento del Magdalena

Característica	Vectores característicos				
	CP1 (6,36)* (31,8)**	CP2 (4,61)* (23,1)**	CP3 (2,47)* (12,4)**	CP4 (1,78)* (8,9)**	CP5 (1,32)* (6,6)**
Número de hojas	0,432	0,716	-0,038	0,007	0,132
Ancho hoja	0,265	0,766	-0,389	0,058	0,065
Altura planta	0,917	0,281	-0,140	-0,056	-0,066
Altura mazorca	0,831	0,124	-0,278	0,058	-0,200
Longitud pedúnculo	0,760	-0,063	0,286	0,077	-0,359
Longitud mazorca	0,733	0,546	0,207	0,080	0,083
Ancho mazorca	-0,761	0,506	0,122	0,067	0,020
Granos/hilera	0,333	0,580	0,499	-0,397	0,221
Hilera/mazorca	-0,705	-0,129	0,233	0,531	0,260
Ancho grano	-0,215	0,477	-0,646	-0,013	-0,197
Longitud grano	-0,380	0,766	-0,166	0,132	-0,054
Grosor grano	-0,261	0,288	-0,110	0,841	0,055
Peso 100 granos	-0,258	0,598	-0,001	-0,130	-0,593
Peso tusa	-0,309	0,392	0,767	-0,193	0,118

(Continúa)

(Continuación tabla 7)

Característica	Vectores característicos				
	CP1 (6,36)* (31,8)**	CP2 (4,61)* (23,1)**	CP3 (2,47)* (12,4)**	CP4 (1,78)* (8,9)**	CP5 (1,32)* (6,6)**
Peso mazorca	-0,510	0,570	0,301	-0,231	-0,232
Acame	0,512	-0,784	-0,003	-0,006	-0,133
Planta enferma	0,579	0,336	-0,422	0,085	0,474
Hijuelos	-0,210	-0,059	-0,359	-0,590	0,487
Días a flor masculina	0,591	0,215	0,487	0,323	0,231
Días a flor femenina	0,778	-0,028	0,313	0,153	-0,042

* Valor característico

** Valor característico de los cinco primeros componentes principales

Fuente: Elaboración propia

El análisis discriminante, que permite reclasificar las introducciones a partir de grupos ya fijados, muestra que las introducciones tienen una similitud morfológica con tres introducciones: 3203, la 91 y otra; la cual el sistema añadió (tabla 8). Esa otra puede ser un testigo racial que no se evaluó y que complementa la variabilidad entre los materiales

para esa región. Reagrupando las introducciones por municipio, estas muestran una tendencia a ubicarse en Fundación, desde ahí posiblemente se dio el desplazamiento de los materiales hacia otros municipios, fijándose ciertas características genéticas (efecto fundador) (tabla 9, figura 1).

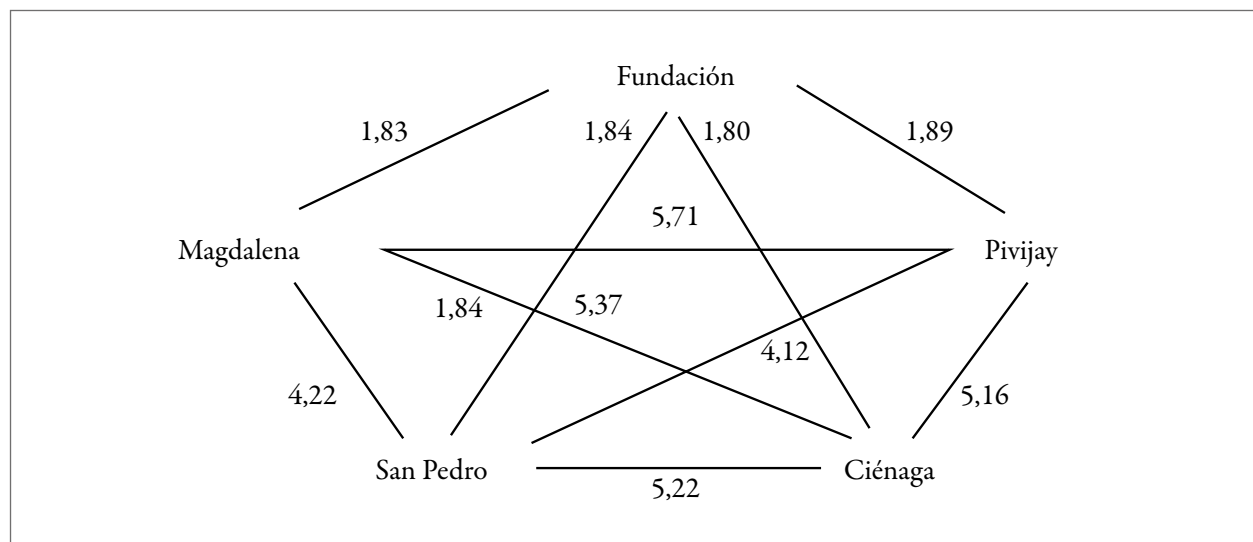


Figura 1. Distanciamiento genético entre municipios de 13 introducciones de maíz procedentes del departamento del Magdalena.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Resumen de resustitución usando función discriminante lineal para 13 introducciones de maíz procedentes del departamento del Magdalena

De variedad	Número de observaciones y porcentaje clasificado en variedad														
	11	3199	3202	3203	34	35	87	88	89	90	91	92	Synko	Otros	Total
11	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	33-33	0	0	41-67	100
3199	0	0	0	37-5	0	0	0	0	0	0	18-75	0	0	43-75	100
3202	0	0	0	37-5	0	0	0	0	0	0	18-75	0	0	43-75	100
3203	0	0	0	53-85	0	0	0	0	0	0	23-08	0	0	23-08	100
34	0	0	0	37-5	0	0	0	0	0	0	12-5	0	0	50	100
35	0	0	0	28-57	0	0	0	0	0	0	28-57	0	0	42-86	100
87	0	0	0	27-27	0	0	0	0	0	0	18-18	0	0	54-55	100
88	0	0	0	46-15	0	0	0	0	0	0	15-38	0	0	38-46	100
89	0	0	0	23-08	0	0	0	0	0	0	23-08	0	0	53-85	100
90	0	0	0	30-77	0	0	0	0	0	0	30-77	0	0	38-46	100
91	0	0	0	38-89	0	0	0	0	0	0	22-22	0	0	38-89	100
92	0	0	0	30-77	0	0	0	0	0	0	7-69	0	0	61-54	100
Synko	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	20	0	0	40	100
% reclasificación	0	0	0	35-29	0	0	0	0	0	0	21-18	0	0	43-53	100
% clasificación inicial	0-07	0-094	0-094	0-076	0-047	0-082	0-065	0-076	0-076	0-076	0-106	0-076	0-588		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Resumen de resustitución por municipio usando función discriminante lineal para 13 introducciones de maíz procedentes del departamento del Magdalena

Número de observaciones y porcentaje clasificado en municipio						
De municipio	Magdalena	Pivijay	San Pedro	Ciénaga	Fundación	Total
Magdalena	29-09	0	0	0	70-91	100
Pibijay	9-09	0	0	0	90-91	100
Sanpedro	13-64	0	0	0	86-36	100
Ciénaga	15-38	0	0	0	84-62	100
Fundación	18-84	0	0	0	81-16	100
Total	20-59	0	0	0	79-41	100
Anteriores	0-32353	0-06471	0-12941	0-07647	0-40588	

Fuente: Elaboración propia

Los materiales se clasificaron en cinco grupos (figura 2) a una distancia de corte de 0,1: Grupo 1 formado por las introducciones 11 y 3199, las cuales se caracterizan por ser materiales bajos, con poco follaje, mazorca pequeña; granos medianos y precoces. Lo que diferencia a las introducciones 11 y 3199 es el color de grano, amarillo y morado, respectivamente. El Grupo 2 lo forman las introducciones 34, 35 y 87 y se caracterizan por ser plantas altas, mazorcas largas y delgadas, granos pequeños y redondos; 34 y 35 poseen granos de varios colores; 87 es amarillo. El Grupo 3 lo forma únicamente el

híbrido comercial Synko. En el Grupo 4 se encuentran las introducciones 88, 90, 3202, 3203 y 91; estas son de planta alta, mazorcas largas, de buen peso, granos grandes y tipo dentado, el color de los granos difiere entre ellas; 88 y 90, 3203 son de grano amarillo, 3202 tiene granos amarillos y blancos y 91 es de grano blanco. En el Grupo 5, están las introducciones 89 y 92, se caracteriza por la similitud en el grano: maíces amarillos, dentados, anchos, poco numerosos en la mazorca, con varias hileras; 89 es una introducción baja y 92 es alta.

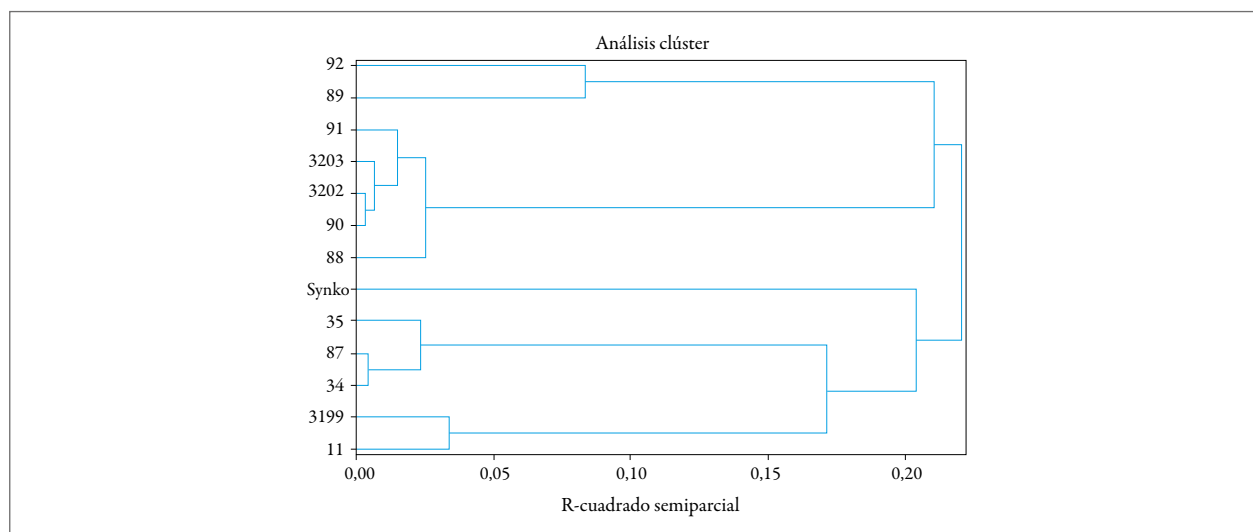


Figura 2. Dendrograma de 13 introducciones de maíz procedentes del departamento del Magdalena obtenido por el método de Ward.

Fuente: Elaboración propia

Caracterización morfológica

La presencia de antocianinas en estas introducciones, ya sea en tallo (introducciones 34 y 89) o en grano (introducciones 11, 34, 35) confirma lo planteado por Mendoza (2012), las especies nativas de maíz poseen altos niveles de antocianinas, estas se encuentran en los granos morados y amarillos y está ausente en los blancos; los amarillos contienen carotenoides (Ford 2000). Actualmente, se reconoce la relevancia nutraceutica de las antocianinas como antioxidantes, anticancerígenas y reductoras de triglicéridos y de colesterol (Pascual-Teresa y Sánchez-Ballesta 2008). Aun cuando la Sierra Nevada de Santa Marta y el departamento de la Guajira son localidades ricas con estos tipos de maíces pigmentados, no se les ha dado la importancia como recurso genético para generar conocimiento que haga eficiente su aprovechamiento; de ellos no se cuentan con variedades mejoradas, tecnología de producción en campo y de uso industrial, ni aprovechamiento nutraceutico. Mendoza (2012) señala que históricamente los granos morados y coloridos han estado presentes en los rituales y en la alimentación de las culturas indígenas y hace notar que los genotipos oscuros son nativos. Espinosa et al. (2009) afirman que los maíces de diferentes colores se continúan sembrando como poblaciones nativas en ciertas zonas de México donde son aceptados por la cultura indígena. Los maíces blancos y amarillos tendieron a ser dentados, esto indica que el endospermo tiene alto porcentaje de almidón y bajo de proteína, la textura del grano es blanda y de bajo peso específico a diferencia de los maíces lisos que fueron de color morado donde la composición de almidón es baja y la proteína alta, los granos pequeños tienden a ser redondos. Se dice que los granos lisos son más resistentes al traslado o almacenaje con respecto a los dentados.

Ocho introducciones tendieron a tener abundante follaje y todas son altas con excepción del testigo y la introducción 89, lo que confirma lo reportado por Paliwall et al. (2001) quienes dicen que las plantas de maíz desarrolladas en los trópicos son altas y con abundantes hojas.

El macollamiento (hijuelos) se hizo presente en ocho introducciones, a diferencia de lo reportado por Paliwall et al. (2001), en el sentido de que los

maíces cultivados en los trópicos no macollan y tienen un solo tallo principal, pero los maíces de tierras altas sí lo hacen, las macollas en la mayoría de los casos son improproductivas; sin embargo, pueden ser una ventaja al utilizarse como forraje.

El problema de acame se hizo presente en todas las introducciones, de ahí que no marcó diferencias estadísticas para este descriptor (tabla 5) y se cuantificó diferenciando si era de raíz o de tallo. Además, fue visualizado por González et al. (2007) cuando evaluaron el rendimiento en materiales silvestres. Paliwall et al. (2001) explicaron que suele haber poca relación entre el acame de raíz y de tallo; el de raíz se asocia con problemas ambientales como lluvias intensas, vientos o con factores de manejo como la alta densidad o mala distribución de plantas; mientras que el acame del tallo está asociado con características genéticas como la resistencia a enfermedades e insectos, la prolificidad y el tipo de senescencia. En esta investigación se presentaron correlaciones negativas entre acame con ancho de la mazorca, longitud del grano y peso de la mazorca (tabla 6). En este aspecto, es necesario tener en cuenta la nutrición de la planta como el nitrógeno y el fósforo que son elementos que están asociados con el desarrollo vegetativo y de la mazorca.

En agricultura, cualquier correlación es interesante; entre ellas, las asociadas al rendimiento, característica controlada por varios genes. Los análisis de correlación son una fase exploratoria de las relaciones estadísticas entre los datos. La correlación ancho de hoja con ancho de grano ($r = 0,7$) fue significativa ($p < 0,0079$) en este estudio; la variable ancho de hoja en maíz está incluida dentro de la fórmula de área foliar. Los estudios de Camacho et al. (1995), centrados en el área foliar y el coeficiente de extinción de luz, encontraron que no existe correlación significativa entre el índice de área foliar y el rendimiento, la correlación que se halló fue con el potasio. El índice de área foliar (IAF) es un parámetro biofísico para analizar la cantidad de radiación fotosintéticamente absorbida. Un aumento en el IAF proporciona aumentos de producción de biomasa; pero, debido al autosombreamiento de las hojas, la tasa fotosintética media por unidad de área decrece (Lucchesi 1987, citado por Camacho et al. 1995). Castro-Navas

et al. (2014) estudiaron el germoplasma nativo de Tamaulipas, en México, bajo altas temperaturas; determinaron la variabilidad de características relacionadas con el área foliar y su eficiencia para la producción de grano. Esta mostró asociación negativa y significativa con las variables índice de área foliar, área foliar total y área de la hoja de la mazorca y número de hojas totales. Según lo anterior, estos descriptores se deben incluir en la caracterización para seleccionar germoplasma con mejor eficiencia fisiológica.

Los coeficientes de variación (tabla 5) se agruparon en tres conjuntos para identificar la dispersión de los datos con respecto a la media. Se dice que los coeficientes de variación son altos para el germoplasma nativo (Guillén et al. 2014). Los datos fueron dispersos para sanidad, esto es normal porque la entrada de un patógeno es local pero, es aleatoria la infección en la población. El problema del acame fue muy variable, hubo plantas de un mismo genotipo que presentaron acame y otros no; esto introdujo variación al descriptor al igual que la presencia de hijuelos. Los caracteres cuantitativos están controlados por muchos genes que están influenciados por el ambiental.

El análisis de componentes principales, explica la variabilidad observada entre las introducciones; el trabajo de Ligarreto et al. (1998) y este estudio hallaron similitud en los coeficientes de variación; dentro de las características que presentaron alto coeficiente de variación fue la longitud del pedúnculo. Es necesario revisar esta característica, ya que cuando se realiza la cosecha, la mazorca se puede fracturar desde el inicio y este factor introduce variabilidad al rasgo. Entre las características con bajo coeficiente de variación estuvieron el diámetro de la mazorca, días a floración masculina y femenina; las medidas del grano y el ancho de la mazorca; datos similares encontró Narez-Jiménez et al. (2015) con los genotipos nativos de Tabasco, México. Ligarreto et al. (1998) eliminaron variables con bajo coeficiente para el análisis multivariado. En este estudio no se las eliminaron porque se consideró que son biológicamente importantes y explican la variabilidad genética encontrada en estos genotipos criollos. Rodríguez-Pérez et al.

(2012) resaltan la característica de precocidad en su estudio de diversidad con maíces criollos en Nuevo León, México, y dice “La diversidad en precocidad es común entre las poblaciones nativas” este mismo autor referencia el trabajo de Ángeles et al. (2012) quien resalta la característica de precocidad en las poblaciones nativas, las cuales tienen como ventaja el rendimiento debido a que no están expuestas al estrés biótico y abiótico; Ángeles et al. (2012) encontraron germoplasma nativo que superó al germoplasma mejorado a causa de la adaptación.

En este estudio, el análisis multivariado resumió la diversidad genética de las 13 introducciones con cinco componentes en un 82,8%, Ligarreto et al. (1998) caracterizaron 25 introducciones y explicaron con cinco componentes el 89% y Aramendiz et al. (2005), con dos componentes, explicaron el 88%. En México, donde se han realizado varios trabajos de caracterización morfológica y con una selección al azar de ellos, en el Valle de Puebla con 41 poblaciones nativas y 16 descriptores, resumieron la variabilidad en 59,6% con tres componentes (Flores-Pérez et al. 2015). Hortelano et al. (2008), con 58 introducciones del valle de Puebla y 18 descriptores, explicaron la variabilidad con tres componentes en un 55,7%. Montes-Hernández et al. (2014) evaluaron 18 poblaciones de la raza jala con 25 descriptores y 3 componentes, con esto explicaron el 75% de la variabilidad. Guillén et al. (2014) evaluaron 71 genotipos con 17 variables en el estado de Tabasco, México. Todos los anteriores investigadores coinciden que entre los tres primeros componentes principales, ya sea en diferente orden, están las características asociadas a la época de floración (fenología), altura de la planta y altura de mazorca (vegetativos) y las variables asociadas al grano como descriptores que marcan variabilidad morfológica. Aramendiz et al. (2005) destacan que en los maíces criollos del Caribe colombiano la mayor diversidad se encuentra entre características de la mazorca, grano y arquitectura de la planta. Esta investigación confirma que sí hay diversidad morfológica en los maíces criollos del departamento del Magdalena, y que esta se marca en el órgano que se comercializa, el que se usa. En el maíz, el órgano más explotado es la mazorca, las hojas y tallos por el uso que se le da como alimento

y forraje. Los colores son un ejemplo de alelos múltiples, en los cuales el descriptor cualitativo está controlado por un gen con muchos alelos con relaciones de dominancia (Stansfield 2001) y los descriptores numéricos como peso, altura, etc. están controlados por muchos genes con acción combinada que dan como resultado una distribución continua de valores fenotípicos (Falconer 2001).

La conformación de grupos homogéneos *a priori* mostró que se podían conformar cinco grupos disímiles morfológicamente, frente al agrupamiento que hace el análisis discriminante con los ya establecidos que son las introducciones, este agrupamiento arroja tres grupos, la similitud se da con la introducción 3203, 91 y *otra* que el mismo sistema arroja; quizás por la falta de representación de la raza nativa, el ancestro de esas introducciones que no está en el germoplasma evaluado. Los estudios en México evalúan un mayor número de introducciones e incluyen testigos raciales; la conformación de los grupos son pocos pero con subgrupos que muestran la variación.

Paliwall et al. (2001) mencionan que la diversidad genética está en función de la selección humana, deriva genética, flujo genético y mutación; sin embargo, la gran heterogeneidad ambiental parece ser una de las fuerzas importantes que han moldeado dicha diversidad a través de la selección natural. Los trabajos de Flores-Pérez et al. (2015) calcularon la variación inter e intrarracial dentro de las poblaciones de maíz nativo de la región de Puebla en México. Estos investigadores hallaron variación continua en las características morfológicas. La variación se explica a razón de los diversos factores de manejo y del ambiente, como son la recombinación genética por el flujo de polen entre poblaciones vecinas y el movimiento de semilla entre agricultores mediante el intercambio, ya sean vecinos o con agricultores de regiones apartadas; además, la intervención del hombre a través del manejo agronómico ha favorecido la adaptación. Ligarreto et al. (1998) mencionan que la multiplicación de los materiales evaluados se debe realizar en condiciones similares a las del sitio de origen de cada material, con el objeto de obviar la selección gamética y genotípica que podría ocurrir al hacerlo en localidades diferentes, lo cual conduce a cambios en la constitución genética de los materiales.

Cardona (2010) expresa que la diversidad genética contenida en el germoplasma de maíces exóticos ha sido fuente importante de nuevos alelos para los fitomejoradores de maíz. El uso de una fracción de este germoplasma sugerido, inicialmente por Anderson y Cutler en 1942 y desarrollado a partir de 1953, por el programa norteamericano de mejoramiento de maíz, creó germoplasma con resistencia y tolerancia a factores de estrés biótico y abiótico (Paliwall et al. 2001). Ruíz-Corral et al. (2013) identificaron seis razas mexicanas adaptadas a condiciones deficientes de humedad, mediante datos biogeográficos, y reportaron un potencial de 678 accesiones. Ángeles-Gaspar et al. (2010) identificaron seis poblaciones locales con mayor rendimiento que las variedades introducidas. El germoplasma nativo debe ser recuperado en variedades locales.

Conclusiones

La caracterización morfológica de los maíces procedentes de la región del Magdalena muestra la existencia de diversidad genética, tanto en los caracteres cualitativos como cuantitativos; se identificaron materiales con presencia de antocianinas, las cuales les confieren propiedades nutraceuticas y precoces con potencial de rendimiento y adaptación.

El análisis de componentes principales mostró que las características que más contribuyen a la variación fenotípica observada en los materiales de maíz evaluados están asociadas principalmente con la arquitectura de planta, los días a floración, el tipo de grano; estos descriptores deben ser tenidos en cuenta a la hora de evaluar morfológicamente el germoplasma de maíz.

Según los análisis discriminantes y de agrupamiento, se conformaron cinco grupos de acuerdo con las características morfológicas y el lugar de procedencia, el municipio de Fundación es el sitio a partir del cual se distribuyen los maíces hacia otros ambientes; por lo cual, se recomienda hacer estudios microgeográficos en esta zona para tener un mejor conocimiento de los factores que están influenciando la diversidad genética de los maíces en las poblaciones naturales.

Agradecimientos

A la Universidad del Magdalena por la financiación económica del proyecto. Al Programa de Semilleros de Investigación del grupo Mejoramiento Genético Vegetal Tropical que está inscrito dentro de la Universidad del Magdalena. A la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, a través del Grupo de Investigación de Recursos Genéticos Neotropicales, al cual pertenece la profesora Creuci

María Caetano quien donó la semilla de maíz. A Marzory Andrade de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira por el procesamiento de los datos.

Descargos de responsabilidad

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- Anderson E, Cutler HC. 1942. Races of *Zea mays*. Their recognition and classification. *Ann Missouri Bot Gard.* 29:69-89.
- Ángeles-Gaspar E, Ortiz-Torres E, López PA, López-Romero G. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Rev Fitotec Mex.* 33(4):287-296
- Aramendiz H, Arias Y, Castro D, Marín N y López A. 2005. Caracterización morfológica de maíces criollos del Caribe Colombiano. *Agron Colomb.* 23(1):28-34.
- Camacho RG, Garrido O, Lima MG. 1995. Caracterización de nueve genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en relación a área foliar y coeficiente de extinción de luz. *Sci Agric Piracicaba.* 52(2):294-298.
- Cardona JO. 2010. Análisis de diversidad genética de las razas colombianas de maíz a partir de datos Roberts et al. (1957) usando la estrategia Ward-MLM. *CienciAgro.* 2(1):199-207.
- Castro-Nava S, Reyes-Méndez CA, Huerta AJ. 2014. Diversidad genética de características del área foliar en maíces nativos de Tamaulipas bajo altas temperaturas. *Rev Fitotec Mex.* 37(3):217-223.
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrológicas del Caribe. 2011. Boletín Meteorológico Santa Marta junio-diciembre. Cartagena, Colombia: CIOH.
- Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y del Trigo, International Board for Plant Genetic Resources. 1991. Descriptores para maíz. Roma, Italia: CIMMYT/IBPGR.
- Espinosa E, Mendoza MC, Castillo F, Ortiz J, Delgado A, Carrillo A. 2009. Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Rev Fitotec Mex.* 32(4):303-309.
- Falconer DS, Mackay TFC. 2001. Introducción a la genética cuantitativa. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- Flores-Pérez L, López PA, Gil-Muñoz A, Santacruz-Varela A, Chávez-Servia JL. 2015. Variación Intra-racial de maíces nativos del altiplano de Puebla, México. *Rev FCA UNCUYO.* 47(1):1-17.
- Ford RH. 2000. Inheritance of kernel color in corn: explanations & investigations. *Am Biol Teach.* 62(3): 181-188.
- Guillén-de la Cruz P, de la Cruz-Lozano E, Rodríguez-Herrera SA, Castañón-Nájera G, Gómez-Vázquez A, Lozano-del Río AJ. 2014. Diversidad morfológica de poblaciones de maíces nativos (*Zea mays* L.) del estado de Tabasco, México. *Rev FCA UNCUYO.* 46(2):239-247.
- González A, Vázquez LM, Sahagún J, Rodríguez JE, Pérez D. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agric Téc Méx.* 33(1):33-42.
- Hortelano-Santa Rosa R, Gil-Muñoz A, Santacruz-Varela A, Miranda-Colin S, Cordova-Tellez L. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agric Téc Méx.* 34(2):189-200.
- Ligarreto G, Ballén A, Huertas D. 1998. Evaluación de las características cuantitativas de 25 accesiones de maíz (*Zea mays* L.) de la zona Andina. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria.* 2(2):1-5.
- Mendoza CG. 2012. Las antocianinas del maíz: su distribución en la planta y producción [tesis de Maestría]. [Montecillo]: Colegio de Postgraduados.
- Montes-Hernández LA, Hernández-Guzmán A, López-Sánchez H, Santacruz-Varela A, Vaquera-Huerta H, Valdivia-Bernal R. 2014. Expresión fenotípica *in situ* de características agronómicas y morfológicas en poblaciones de maíz raza Jala. *Rev Fitotec Mex.* 37(4):363-371.
- Nakos G, Joyner D. 1999. Álgebra lineal con aplicaciones. España: Internacional Thomson Editors Eigenvalores y eigenvectores. pp. 441-504.
- Narez-Jiménez CA, de la Cruz-Lázaro E, Gómez-Vázquez A, Cruz-Hernández A, Brito-Manzano NP, Márquez-Quiroz C. 2015. Diversidad morfológica de maíces nativos de la región Grijalba del estado de Tabasco, México. *Rev Fac Agron (LUZ).* 32:1-20.
- Paliwall RL, Granados G, Lafitte HR, Violec AD. 2001. El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- Pardey C. 2015. Producción de semilla y cruzamientos entre accesiones de maíz del departamento del Magdalena, Colombia. *Acta Agron.* 64(1):83-92.
- Pascual-Teresa S, Sánchez-Ballesta MT. 2008. Anthocyanins: from plant to health. *Phytochem Rev.* 7(2):281-299.
- Posada C. 2010. Variación genética entre introducciones de *Zea mays* L. en departamentos de tres zonas agroecológicas de Colombia [tesis doctoral]. [Palmira, Colombia]: Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.
- Ramírez-Moreno P, Vega-Valdivia D.D. 2004. Situación y perspectivas del maíz en México. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Roberts LM, Grant UJ, Ramírez R, Hatherway WH, Smith DL. 1957. Razas de maíz en Colombia. Boletín Técnico No. 2. Bogotá, Colombia: Editorial Máxima.
- Rodríguez-Pérez G, Zavala-García F, Ojeda-Zacarías C, Gutiérrez-Diez A, Treviño-Ramírez JE, Rincón-Sánchez F. 2012. Diversidad de maíces criollos de Nuevo León, México, mediante AFLP y caracteres morfológicos. *Agronomía Mesoamericana.* 23(1):29-39.
- Ruiz-Corral JA, Sánchez-González JJ, Hernández-Casillas JM, Wilcox MC, Ramírez-Ojeda G, Ramírez-Díaz JL, González-Eguiarte DR. 2013. Identificación de razas mexicanas de maíz adaptadas a condiciones deficientes de humedad mediante datos biogeográficos. *Rev Mex Cienc Agríc.* 4(6):829-842.
- Stansfield W. 2001. *Genética*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Torregrosa M. 1957. Razas de maíz en la costa atlántica colombiana [trabajo de grado]. [Medellín, Colombia]: Universidad Nacional de Colombia.
- Vásquez J. 2009. Caracterización de la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas en los suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena [tesis de Maestría]. [Palmira, Colombia]: Universidad Nacional de Colombia.
- Vélez G. 2002. Los maíces criollos historia y diversidad en la Región Caribe colombiana. [consultado 2010 may]. https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjOuriN5s3MAhWOPB4KHc8qCL0QFg-gaMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.semillas.org.co%2Faa%2Fimg_upload%2F5d99b14191c59782eab-3da99d8f95126%2Fcartilla1.doc&usq=AFQjCNFD-8CihBZ-GIwJF8bvj9q1XS3Fw&sig2=Vgfy1p4Ba-HwIOr2gMP6vXA&bvm=bv.121421273,d.dmo
- Wellhausen EJ, Roberts LM, Hernández E, Mangelsdorf PC. 1951. Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Folleto técnico N.º 5. México, DF: Programa de Agricultura Cooperativa de la Secretaría de Agricultura y Ganadería y Fundación Rockefeller.