

Producción de semilla y cruzamientos entre accesiones de maíz del departamento del Magdalena, Colombia

Output of seed and crosses among maize accessions of the Magdalena department of Colombia

Catherine Pardey Rodríguez

Universidad del Magdalena, Programa de Ingeniería Agronómica. Apartado postal 2-1-21630 Santa Marta D.T.C.H. Magdalena Colombia. Autora para correspondencia: catherinepardey@unimagdalena.edu.co

Rec.: 23.07.2014 Acep.: 09.08.2014

Resumen

A partir de accesiones de maíz con pasaporte del departamento del Magdalena, Colombia, se inició un programa de cruzamientos bajo las condiciones edafoclimáticas del Centro Experimental Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena (74° 07' - 74° 12' O y 11° 11' - 11° 15' N) ubicado en la ciudad de Santa Marta, Colombia, a 2 m.s.n.m. El objetivo en el trabajo fue obtener líneas endocriadas a partir de 10 accesiones de maíz y formar 45 híbridos F1 directos entre ellas. La producción de las líneas endocriadas sólo fue posible con ocho de las accesiones; la accesión 35 procedente de San Pedro de la Sierra (1397 m.s.n.m.) no floreció bajo las condiciones del ensayo y la accesión 91 procedente de Fundación (62 m.s.n.m.) floreció, pero no formó semilla. Las accesiones 34 y 90 produjeron poca semilla, a diferencia de la accesión 92, que produjo abundante semilla. En general el desarrollo de las mazorcas producidas por autofecundación fue pobre y con baja formación de grano. La cantidad de semilla en F1 fue diferente entre las cruces. Las accesiones 3202, 88, 89 y 92 fueron buenos parentales con habilidad para cruzarse y producir semilla híbrida, a diferencia de las accesiones 34, 35 y 91 que mostraron pobre adaptación y escasa habilidad en los cruzamientos. Las condiciones edafoclimáticas del Centro Experimental Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena no son adecuadas para producir semillas en programas de cruzamientos dirigidos de maíz.

Palabra clave: *Zea Mays*, clima, cruzamiento, polinización, mejoramiento convergente.

Abstract

Genetic resources of maize are important for breeding programs. From maize accessions of department of Magdalena-Colombia, a program of crosses was initiated under the soil and climatic conditions of Center Experimental of Agricultural and Forestry from University Magdalena located in Santa Marta, geographical coordinates 74° 07' Y 74° 12' west long and 11° 11' y 11° 15' north latitude yand 2 meter above sea level (masl). The objectives were to obtain inbred lines from ten accessions of maize and 45 F1 hybrids direct form between them. The production of the inbred lines was only possible with eight accessions; accession 35 from San Pedro de la Sierra to 1397 (masl) did not flourish under conditions of Santa Marta and the accession 91 from Foundation to 62 (masl) it flourished but this did not form grains. Accessions 34 and 90 produced little seed accession unlike 92 it which was abundant. Overall

development of the ears produced by selfing was poor and low grain formation. The amount of seed was different between F1 crosses; only four accessions: 3202, 88, 89 and 92 had the ability to cross and produce hybrid seed, unlike accessions 34, 35 and 91 showed poor adaptation and inability to cross.

Key words: Climate, cross, pollination, crossbreeding.

Introducción

El maíz (*Zea mays*) es un cultivo importante en Colombia, donde se adapta en varias regiones con diferentes condiciones agroclimáticas y socioeconómicas. El grano se produce desde la Guajira hasta el Amazonas y desde la vertiente del Pacífico hasta los Llanos Orientales; se siembra desde el nivel del mar hasta 3000 m.s.n.m., en zonas con precipitaciones menores que 300 mm en la Guajira hasta 10,000 mm en el Choco (Polanía y Méndez, 2012). Los tipos blanco y amarillo son los más cultivados, el primero se dedica al consumo humano y el segundo principalmente a usos industriales en la elaboración de concentrados para cría y engorde de animales (Polanía y Méndez, 2012).

El conocimiento del uso de la nueva variedad o híbrido que se desarrollará en programas de mejoramiento es esencial para direccionar el objetivo del mejoramiento en maíz, así, en la agricultura tradicional se usan las variedades, mientras que en la agricultura comercial se emplean los híbridos. Por tanto, si se desea obtener variedades o mejorar las existentes se recurre a los métodos de mejoramiento recurrente de poblaciones y si se desea obtener híbridos, se aplican los métodos de hibridación (Vargas, 2010). En ambos métodos es necesario desarrollar líneas endocriadas, las cuales se simbolizan con la letra 'S' y se obtienen por el método de autofecundación controlada, proceso cuya finalidad genética es incrementar la homocigosis en los caracteres de la planta, siendo el efecto visual de esta endogamia la pérdida de vigor de la planta.

Una vez formadas, las líneas endocriadas tienen diferentes usos en los programas de mejoramiento, entre ellos, identificar las mejores líneas endogámicas mediante la evaluación con un probador de amplia base genética (Top-Cross) en diferentes ambientes, para identificar aquellas promisorias en

determinadas localidades y explotar el vigor híbrido o heterosis utilizando los cruces dialélicos (Vallejo y Estrada, 2002). Con el uso del Top-Cross se identifica la aptitud combinatoria general de la línea S y con el cruce dialélico se estudia la aptitud combinatoria general y la específica. Las líneas endocriadas se pueden mejorar cruzando entre sí aquellas que muestren complementariedad entre características fenotípicas como la resistencia a enfermedades. El retrocruzamiento es otra forma de mejorar las líneas endocriadas que son utilizadas para desarrollar las variedades sintéticas empleando los policruzamientos (Ramírez, 2006).

El desarrollo de híbridos en maíz con líneas endogámicas es un método pionero con respecto a otros cultivos, su repercusión en la agricultura y en la economía ha sido grande, se han desarrollado híbridos simples, dobles y de tres vías (Vargas, 2010). En los programas de mejoramiento local se trabajan varios objetivos a la vez, como la adaptabilidad del germoplasma a las condiciones específicas de los agricultores y su adecuación a los ambientes marginales, la aceptación de la semilla por parte de los agricultores, la estabilidad económica y otras características. (Paliwal, 2001).

El maíz ha sido mejorado *in situ*, con base en la percepción de uso y necesidades del agricultor y del consumidor. Los cultivares desarrollados en este caso reciben el nombre de variedades ancestrales, locales, o nativas. Son fuente de importancia agronómica que influyen en la adaptación local, la estabilidad económica y la sostenibilidad del agricultor. A diferencia de las variedades mejoradas, donde el rendimiento es el objetivo principal y está dirigido a ambientes favorables; los materiales locales son fuente de resistencia a hongos e insectos y estrés abiótico (Vargas, 2010).

El presente estudio se realizó con el objetivo de desarrollar líneas S_1 entre 10 accesiones de maíces nativos y obtener semilla

híbrida F_1 entre ellas, para posteriormente evaluar y estimar el avance genético para rendimiento en grano e identificar familias con buen comportamiento agronómico, que puedan ser utilizadas como variedades y/o servir como fuentes para extracción de líneas endocriadas, así como generar información para continuar con el proceso de mejoramiento de estas poblaciones cultivadas en el departamento del Magdalena. En este artículo se destacan los resultados obtenidos de la producción de semilla por los procesos de polinización dirigida entre accesiones nativas.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Centro Experimental Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena ($74^{\circ} 07' - 74^{\circ} 12' O$ y $11^{\circ} 11'$

- $11^{\circ} 15' N$), Santa Marta, Colombia. La temperatura promedio en la época del ensayo fue de $29^{\circ} C$, la precipitación de 453 mm, el brillo solar de 245 horas, la velocidad del viento 3 m/seg, la textura del suelo es franco arcilloso arenoso (Vásquez, 2009; IDEAM, 2012).

Las semillas fueron suministradas por la Colección de Maíces Colombinos de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (Cuadro 1). Estas semillas fueron introducidas en el Programa de Mejoramiento Genético de Universidad del Magdalena en 2011. Para ello se inició su multiplicación a través de cruza fraternales, igualmente se realizaron autofecundaciones (S_1) y cruzamientos dirigidos entre ellas directamente (híbridos F_1), sin pasar por autofecundaciones previas.

Cuadro 1. Accesiones de maíz nativo recolectado en el departamento del Magdalena, Colombia.

Entrada No. UNAL Palmira	Sitio de recolección	Longitud	Latitud	Altitud (m.s.n.m.)	Raza	Color	No. BG
3202	—	—	—	—	Clavo	Amarillo	ZmMagCol-CIM3202
11	Fundación	74 11	10 3100	53	Cariaco	Amarillo	ZmColCIM3132
34	San Pedro de la sierra	74 0247	10 5424	1397	Guiura	Morado y amarillo	ZmColCIM 3125
35	San Pedro sierra	74 0247	10 5424	1397	Guiura	Morado y Amarillo	ZmColCIM 3121
87	Pivijay	74 23008	10 27455	24	Clavo	Amarillo	ZmMagCol1001
88	Fundación	74 11195	10 31231	49	Clavo	Amarillo	ZmMagCol1002
89	Fundación	74 11070	10 31236	62	Carioco	Amarillo	ZmMagCol1003
90	Fundación	74 11070	10 31236	62	Clavo	Amarillo	ZmMagCol1004
91	Fundación	74 11070	10 31236	62	Clavo	Blanco	ZmMagCol1005
92	Ciénaga	74 05403	10 53591	65	Clavo	Amarillo	ZmMagCol1006

No BG: Identificación según Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira

Incremento de semilla y formación de líneas S_1 en diez accesiones nativas de maíz

Las diez accesiones fueron sembradas en parcelas de dos surcos de 4 m y distancia entre planta de 0.25 m. Las siembras se hicieron de forma escalonada, tres veces durante el tiempo del ensayo, con siembras cada semana para garantizar la disponibilidad de polen entre las accesiones al momento de realizar los cruzamientos. Las parcelas fueron abonadas con bocashi y se fertilizaron

con nitrógeno (170 kg/ha), fósforo (35 kg/ha) y potasio (175 kg/ha) incorporados en el suelo. El riego se hizo durante el desarrollo vegetativo de las plantas hasta quince días después de la floración. El control de cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se realizó al comienzo en forma manual y posteriormente, con *Bacillus thuringiensis* (1000 g/ha); cuando el número de individuos aumentó se aplicó Lorsban (1 lt/ha). El control de malezas, en especial *Cyperus rotundus*, se hizo con Roun-

dup (5 lt/ha) como preemergente y se continuó con guadaña. Como prácticas de manejo complementarias se hicieron dos aporques y fertilización foliar en estado vegetativo usando Nutrifoliar completo (2 lt/ha).

Los incrementos de semilla se hicieron con cruzamientos fraternales y las líneas S_1 se formaron autofecundando la planta; los cruzamientos obtenidos se identificaron para saber cuáles eran cruces fraternales y cuáles autofecundaciones. Al momento de la cosecha, en la etapa de madurez fisiológica, las mazorcas cosechadas fueron secadas en un sitio al aire libre donde no incidían los rayos del sol directamente sobre ellas, luego se procedió a extraer las semillas y a contarlas, antes de colocarlas en bolsas de papel y plásticas, asperjarlas con Vitavax y almacenarlas en nevera con etiquetas de identificación.

Formación de semilla híbrida F_1 y cruzamiento dialélico 10 x 10

En esta etapa se realizó una siembra similar a la efectuada para los incrementos y formación de semilla S_1 , aplicando las mismas normas agronómicas de cosecha y almacenamiento de

la semilla. Las 10 accesiones se sembraron en surcos de 4 m y distancia entre planta de 0.25 m. Las siembras se realizaron tres veces en el tiempo, para garantizar disponibilidad de polen. Los cruzamientos fueron dirigidos, siguiendo el esquema de un dialélico 10 x 10 (Figura 1), en un programa de 45 cruzamientos directos.

Los cruzamientos se hicieron en las primeras horas del día (entre 6:00 y 7:00 a.m.) antes del comienzo del viento. Los estigmas fueron cubiertas con bolsas de papel antes que emergieran para evitar la polinización no controlada. El polen se tomó directamente de las anteras y se llevó a la flor correspondiente con estigmas receptivos (Foto 1). Después del espolvoreo del polen sobre el estigma, el cruzamiento fue cubierto con bolsas de papel y se identificó con una etiqueta. Este procedimiento se repitió al día siguiente y para evitar la polinización no controlada la bolsa cubrió los estigmas hasta cuando se observó que perdían viabilidad, Las mazorcas identificadas con las etiquetas fueron cosechadas cuando el grano pasó la etapa 'lechoso'.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 (02)	1X1	2X1	3X1	4X1	5X1	6X1	7X1	8X1	9X1	10X1
2 (11)		2X2	3X2	4X2	5X2	6X2	7X2	8X2	9X2	10X2
3 (34)			3X3	4X3	5X3	6X3	7X3	8X3	9X3	10X3
4 (35)				4X4	5X4	6X4	7X4	8X4	9X4	10X4
5 (87)					5X5	6X5	7X5	8X5	9X5	10X5
6 (88)						6X6	7X6	8X6	9X6	10X6
7 (89)							7X7	8X7	9X7	10X7
8 (90)								8X8	9X8	10X8
9 (91)									9X9	10X9
10 (92)										10X10

Figura 1. Cruzamiento dialélico 10 x 10 entre genotipos nativos de maíz.

Resultados

Incrementos de semilla y formación de líneas S_1 en 10 accesiones nativas

Los porcentajes de germinación de las semillas de las accesiones fueron diferentes ($P < 0.05$). Se observaron dos grupos, uno con un alto porcentaje de germinación y otro con viabilidad reducida de semilla (Cuadro 2). Entre

estos últimos se encontraron los genotipos de las accesiones provenientes de San Pedro (34 y 35) y de Fundación (92 y 90). En las accesiones 34 y 35 (San Pedro), 90 (Fundación) y 3202 (sin lugar conocido de precedencia) no fue posible incrementar la semilla empleando cruzamientos fraternales. La accesión 11 (Fundación) presentó una baja producción de semilla por el método fraternal, donde solo se obtuvieron 20 semillas.

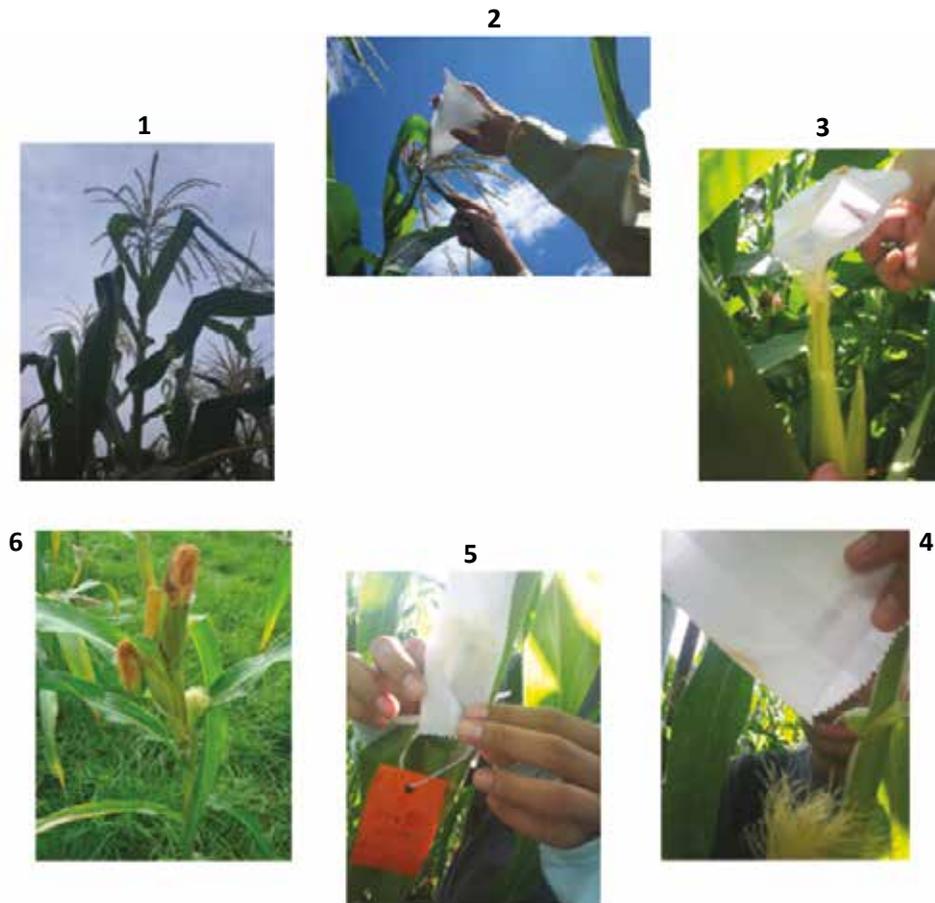


Foto 1. Formación de cruzamientos dirigidos en maíz. (1) Espigas maduras. (2) Captura de polen. (3) Descubrimiento de estigmas receptivos. (4) Polinización. (5) identificación del cruzamiento. (6) Formación de mazorcas producto de la fertilización.

Cuadro 2. Porcentajes de germinación y aumentos de semilla de maíz nativo procedentes del Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

Accesión (No.)	Repeticiones ^a	Germinación (%)	Cantidad de semilla	
			Fraternales	S ₁
3202	2	97.50 a*	0	599
11	2	97.50 a	20	270
89	2	92.50 a	160	209
91	2	90.00 a	235	0
88	2	87.50 a	346	304
87	2	85.00 a	300	351
35	2	75.00 b	0	0
92	2	75.00 b	502	882
90	2	72.50 b	0	130
34	2	55.00 b	0	108

a. = Número de repeticiones, se sembraron 20 semillas por accesión en cada una de las repeticiones.

* Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

Fraternales = Método de cruzamiento para hacer multiplicación de semilla, expresado como número de semilla obtenido.

S₁ = Número de semillas producidas por autofecundación.

La formación de líneas endocriadas, semilla por autofecundación (S_1), fue posible en ocho accesiones y solo en dos de ellas (91 y 35) no se obtuvo semilla S_1 . De la accesión 35 no fue posible obtener semilla por el método de fraternales o por autopolinizaciones; por el contrario, las accesiones 87 (procedente

de Pivijay), 88 (de Fundación) y 92 (de Ciénaga) presentaron buenos incrementos de semilla por ambos métodos. Estos resultados muestran la ausencia de un comportamiento uniforme de las accesiones debido a su proveniencia de diferentes ambientes dentro del departamento del Magdalena (Foto 2).



Foto 2. Formación de mazorcas como producto del cruzamiento entre plantas hermanas de accesiones nativas de maíz procedentes del departamento del Magdalena, Colombia.

La accesión 91 (de Fundación) no produjo semilla por autofecundaciones (S_1), mientras que las accesiones 34 (de San Pedro) y 90 (de Fundación) produjeron baja cantidad de semilla por endogamia (Foto 3). En términos generales, tanto la formación de mazorcas

como la producción de grano fueron escasas. Todos los granos de las mazorcas fueron almacenados y sólo se eliminaron las semillas atacadas por plagas o enfermedades, o mazorcas mal formadas.

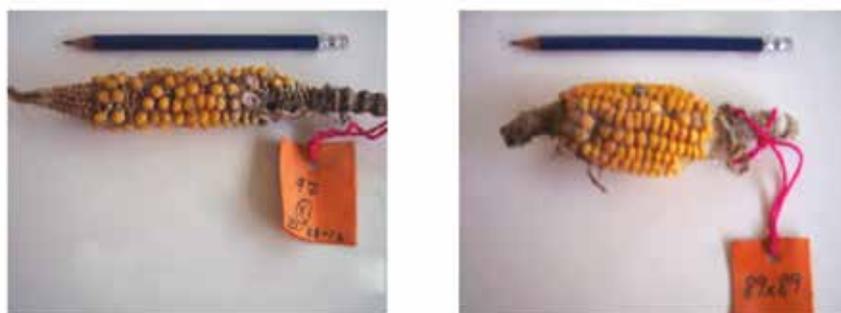


Foto 3. Formación de mazorca producto de autocruzamientos manuales dirigidos entre accesiones nativas de maíz procedentes del departamento del Magdalena, Colombia.

Formación de semilla híbrida F₁ y cruzamiento dialélico 10 x 10

La cantidad de semilla híbrida producida en 45 cruzamientos directos siguiendo el esquema del dialélico 10 x 10 aparece en el Cuadro 3. Los progenitores (accesiones) 88, 3202, 92 y 89 produjeron semilla F1 por encima de la media (109.35 semillas); estas accesiones produjeron semilla tanto por el método de fraternales como por endogamia y como progenitores mostraron

capacidad para cruzarse entre ellas, lo cual indica que existe identidad genética. No todos los progenitores se cruzaron y formaron grano, por ejemplo, las accesiones 34, 35 de zonas frías y 91 de zonas calientes participaron en tres o cuatro cruzamientos; similar fue el comportamiento de las accesiones 87 y 90 que se cruzaron con cinco de otros progenitores y la cantidad de semilla F1 obtenida estuvo por debajo de la media (Foto 4).

Cuadro 3. Cantidad de semilla de maíz obtenida del cruzamiento dialélico 10 x 10 y habilidad de los progenitores para cruzarse y producir semilla.

											Cantidad de semilla producida por progenitor			habilidad del progenitor para cruzarse y producir semilla				
											1	2 = CTE	1-2	1	2= CTE	1-2		
	87	34	88	11	3202	35	90	91	92	89	€Pi.	€Pi./n-2	€Pi/n(n-2)	Índice	€Pi	€Pi/n-2	€Pi/n(n-2)	Índice
87		0	180	26	82	0	126	0	0	9	423	52.875	109.35	-56.475	5	0.625	0.7375	-0.1125
34			245	0	0	0	0	92	237	110	684	85.5	109.35	-23.85	4	0.5	0.7375	-0.2375
88				449	175	75	84	253	122	63	1646	205.75	109.35	96.4	9	1.125	0.7375	0.3875
11					71	0	0	6	105	82	739	92.375	109.35	-16.975	6	0.75	0.7375	0.0125
3202						70	108	263	344	237	1350	168.75	109.35	59.4	8	1	0.7375	0.2625
35							0	0	84	0	229	28.625	109.35	-80.725	3	0.375	0.7375	-0.3625
90								0	115	286	719	89.875	109.35	-19.475	5	0.625	0.7375	-0.1125
91									51	0	665	83.125	109.35	-26.225	4	0.5	0.7375	-0.2375
92										224	1282	160.25	109.35	50.9	8	1	0.7375	0.2625
89											1011	126.375	109.35	17.025	7	0.875	0.7375	0.1375
											€P. = 8748	—	—	€P. = 59	—	—	—	—

€Pi.= Cantidad de semilla total producida por progenitor (accesión) *i* en los cruzamientos donde participa.

1 = €Pi./n-2 = Media de la cantidad de semilla producida por progenitor (accesión) *i* en los cruzamientos donde participa.

2. = T= €Pi/n(n-2) Media general de la cantidad semilla producida en todos los cruzamientos, es un índice= Resta de la casilla 1 y la 2. Valores positivos están por encima de la media, valores negativos debajo de la media.

€Pi.= Cantidad de cruzamientos con producción de semilla donde participa el progenitor (accesión) *i*.

1 = €Pi./n-2 = Media de la cantidad de cruzamientos con producción de semilla donde participa el progenitor (accesión) *i*.

2. = T= €Pi/n(n-2) Media general de la cantidad cruzamientos con producción de semilla, es un índice = Resta de la casilla 1 y la 2. Valores positivos están por encima de la media, valores negativos debajo de la media.

Discusión

La regeneración es una técnica empleada para obtener semilla fresca con alta viabilidad (Rao *et al.*, 2007). Los resultados del porcentaje de germinación de la semilla proveniente del Banco de Germoplasma de Maíces Colombianos fue variable (Cuadro 2). Cerovich y Miranda (2004) encontraron que la semilla de maíz pierde longevidad por efecto del almacenamiento, y como prácticas para conservarlas se sugiere almacenar semillas de alta calidad y controlar la humedad y la tem-

peratura de almacenamiento. Estos autores consideran que las características genéticas de la especie en almacenamiento cambian entre especies, cultivares de una misma especie, lotes e inclusive entre individuos de un mismo lote. Se sabe que el maíz tiene longevidad intermedia y que el maíz dulce exhibe mayores problemas de almacenamiento que el maíz blanco o el amarillo. Las accesiones en este trabajo incluyeron todos estos tipos, además de accesiones moradas que mostraron valores bajos de viabilidad.



Foto 4. Formación de mazorcas producto del cruzamiento entre accesiones nativas de maíz procedentes del departamento del Magdalena, Colombia. Los números en etiquetas corresponden a accesiones evaluadas.

La diversidad de procedencia de las accesiones y los contrastantes de climas en sus sitios de origen generaron dificultades para la regeneración de la semilla y la formación de los cruzamientos en el Centro Agrícola y Forestal. El sitio de origen de este grupo de accesiones es diverso y va desde Fundación, Pivijay, Ciénaga hasta San Pedro de la Sierra (Cuadro 1). El departamento del Magdalena tiene orografía contrastante, así, Santa Marta se encuentra a 2 m.s.n.m. y el clima del Centro Experimental se clasifica como desértico.

Bermejo y Jiménez (1976) hacen referencia a las condiciones agroclimáticas de este sitio, donde las lluvias son irregulares y es necesario complementar con riego programado. Las accesiones 34 y 35 de San Pedro de la Sierra no se adaptaron a las condiciones edafoclimáticas del Centro, donde se efectuó la siembra para las polinizaciones, debido, posiblemente, a que en su sitio de origen predominan condiciones de clima frío, por lo cual la época de floración de ambos genotipos exige niveles adecuados de luz y calor

para inducir la emergencia de las estructuras florales masculina y femenina. Rincón *et al.* (2006) señalan que la combinación de altas temperaturas y sequía causan reducción en la fotosíntesis y en consecuencia en la producción de grano. Las temperaturas altas en la etapa inicial del período de llenado de grano tienen efectos negativos en el peso individual del grano, lo que se atribuye a la reducción en la concentración de almidón.

Las accesiones 11, 90 y 91 procedentes de Fundación produjeron una cantidad reducida de semilla. Este sitio se caracteriza por una temperatura similar a la de Santa Marta, donde se encuentra el Centro Experimental, pero los regímenes de lluvias son más altos en Fundación. Los registros del IDEAM ubican a la Región Caribe en un rango de lluvias anual entre los 500 y 2000 mm y a Santa Marta en el rango de 500 a 1000 mm. La ciudad registró menos de 50 días lluviosos en 2012 y en el periodo diciembre - abril menos de cuatro días con lluvia; los periodos con mayor cantidad de días con lluvia fueron mayo, junio y octubre con 5 a 10 días lluviosos. Según los datos de la estación de Simón Bolívar, en 2012 en Santa Marta cayeron 453 mm y los requerimientos mínimos de agua en maíz son de 500 mm distribuidos a lo largo del ciclo del cultivo.

Cuando la sequía se presenta en la época de establecimiento del cultivo, las plántulas de maíz mueren; si la sequía se produce durante el periodo vegetativo tiende a disminuir el área foliar y el desarrollo de la planta, además de acelerar la senescencia de la hoja; y si la sequía ocurre en la época de floración, se afecta el rendimiento porque se reducen la formación de reservas, el número de granos por planta por falta de polinización o porque los óvulos fertilizados detienen su crecimiento; el crecimiento de los estambres se retarda (Lafitte, 2001). Rincón *et al.* (2006) consideran que en maíz las temperaturas mayores de 35 °C acompañadas por una baja humedad relativa provocan desecación de los estigmas; mientras que temperaturas mayores que 38 °C reducen la viabilidad del polen. Con base en los resultados de Rincón *et al.* (2007) se ha sugerido que por cada grado centígrado que se incrementa la temperatura por encima del óptimo (25 °C) se reduce 3 a 4% el

rendimiento de grano, un comportamiento fisiológico de la planta que explica el porqué de la baja cantidad de semilla obtenida en el Centro Experimental, un sitio que presenta condiciones climáticas estresantes para el cultivo de maíz. En la semilla F1 también se observó una tendencia similar a producir poca semilla cuando se realizaron los incrementos (Cuadro 3). Según Carballo y Hernández (s.f.) una mazorca de variedad local produce aproximadamente 400 granos.

En la accesión 91 la floración femenina fue escasa y la altura de las plantas superó 2.5 m, lo que dificultó la manipulación del polen y los estigmas. El IDEAM (2012) registró una velocidad de los vientos para la ciudad de Santa Marta de 3 m/seg y los valores más altos fueron de 4 m/seg en febrero y marzo, condiciones que favorecen el movimiento constante de hojas y la pérdida de polen en maíz.

En Santa Marta la temperatura del aire es regular a través del tiempo sin variaciones marcadas. El clima se caracteriza por ser cálido y en el periodo junio - septiembre por ser ligeramente más cálido (38 °C) que los restantes meses del año. La estación meteorológica Simón Bolívar registró para el 2012 un rango de temperatura, promedio anual, entre 27 y 29 °C y temperaturas máximas entre 34 °C y 38 °C. Según Lafitte (2001) el maíz en zonas tropicales está a menudo expuesto a temperaturas por encima de las óptimas. Cuando las hojas transpiran libremente, su temperatura se encuentra a 1 o 2 °C por debajo de la temperatura del aire, evitando el daño de los tejidos. La fotosíntesis disminuye a temperaturas de la hoja mayores que 40 °C y el daño se acelera a altas temperaturas y ocasiona la muerte de los tejidos. En maíz, la mayor capacidad fotosintética se presenta en la época de floración, por tanto la materia asimilable disponible en este período es un factor crítico que determina el rendimiento de grano, y el flujo reducido de carbono y nitrógeno hacia los granos en desarrollo es importante ya que estos determinan su tamaño. La viabilidad del polen se reduce en forma importante por encima de 35 °C, lo que afecta de manera directa la polinización. Las altas temperaturas también incrementan la tasa de llenado de los granos y acortan la

duración de ese periodo. Los efectos de las altas temperaturas se confunden debido al déficit de humedad.

Conclusión

- Las condiciones agroclimáticas del Centro Experimental Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena no son favorables para producir semilla abundante producto de cruzamientos dirigidos en maíces nativos procedentes del departamento del Magdalena.
- Las accesiones 3202, 88, 89 y 92 se presentaron como buenos progenitores en programas de mejoramiento, mostrando alta capacidad para combinarse y producir semillas.

Agradecimientos

A la Universidad del Magdalena por la financiación. A los estudiantes del Programa de Semilleros Mejoramiento Genético Vegetal Tropical de la Universidad del Magdalena por participar en las polinizaciones. A la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira a través del Grupo de Investigación de Recursos Genéticos Neotropicales y a la profesora Creuci María Caetano quien proporcionó las semillas de maíz para este trabajo.

Referencias

Bermejo, S. O. y Jiménez, G. R. 1976. Estudio comparativo y de adaptación del maíz (*zea mays*) en la granja de la Universidad Tecnológica del Magdalena. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad del Magdalena Facultad de Agronomía. 76 p.

Carballo, C. A. y Hernández, G. A. s.f. Selección y manejo de maíces criollos. Secretaria de Agricultura, ganadería, desarrollo rural pesca y alimentación. Colegio de postgraduados. México: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/documents/fichasaapt/>

Cerovich, M. y Miranda, F. 2004. Almacenamiento de semillas: estrategia básica para la seguridad alimentaria. CENIAP HOY no. 4, enero-abril 2004. Maracay, Aragua, Venezuela. <http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n4/texto/mcerovich.htm>

IDEAM (Instituto de Hidrología y Meteorología de Colombia). 2012. Cartas climatológicas, Aeropuerto Simón Bolívar. <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/sanmart/tabla.htm>

Lafitte, H. R. 2001. Fisiología del maíz tropical. En: Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafitte, H. R. y Violic, A. D. (eds.). El maíz en los trópicos. Mejoramiento y Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal. No.28. p. 21 - 28.

Paliwal, R. L. 2001. Consideraciones generales del mejoramiento del maíz en los trópicos. En: Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafitte, H. R.; y Violic, A. D. El maíz en los trópicos, Mejoramiento y Producción. Paliwal, R. L. (eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal No.28. p. 117 - 122.

Polanía, F. F. y Méndez, G. D. 2012. Importancia del cultivo de maíz. En: Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia. Federación Nacional de Cerealistas Fenalce. Colombia. 222 p.

Ramírez, L. 2006. Mejora de plantas alógamias. Universidad Pública de Navarra. 33 p.

Rao, N. K.; Hanson J.; Dulloo M. E.; Ghosh K.; Novell D. y Larinde, M. 2007. Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manual para bancos de germoplasma No 8. Bioversity International, Roma, Italia.

Rincón, T. J.; Castro, N. S.; López, S., J. A; Huerta, C.; Trejo, L. F.; y Briones, E. 2006. Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical. Rev. Intern. Bot. Exp. 75:31 - 40.

Vallejo, C. F. y Estrada, S. E. 2002. Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 401 p.

Vargas, S. J. 2010. Fitomejoramiento. En: Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia. Federación Nacional de Cerealistas (Fenalce). Colombia. 222 p.

Vásquez, P. 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. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 113 p.