

Interacción genotipo ambiente en cruzamientos varietales de maíz para los estados de Veracruz y Tabasco, México

SIERRA-MACÍAS, Mauro*†, RODRÍGUEZ-MONTALVO, Flavio Antonio, GÓMEZ-MONTIEL, Noel, y ANDRÉS-MEZA, Pablo

Recibido Enero 15, 2017; Aceptado Marzo 10, 2017

Resumen

Durante el ciclo primavera verano 2016 se condujo un experimento de cruzas varietales de maíz en las localidades de Cotaxtla y Carlos A. Carrillo en el estado de Veracruz y Huimanguillo en el estado de Tabasco. El experimento se distribuyó bajo un diseño alpha látice 7x4 con 28 tratamientos y tres repeticiones en parcelas de dos surcos de 5 m de largo con una densidad de 62,500 pl ha⁻¹. Del análisis de varianza combinado para las tres localidades, se encontró significancia estadística al 0.01 de probabilidad para Genotipos (G), para Ambientes (A) y para la interacción GxA. De los 28 híbridos varietales y de acuerdo con los parámetros de estabilidad, 25 fueron caracterizados como estables, uno con buena respuesta en ambientes favorables y consistente y dos con respuesta mejor en buenos ambientes pero inconsistente. Las cruzas varietales sobresalientes al 0.01 de probabilidad, fueron SINT-2BxVS-536, SINT-3BxSINT-1BQ, SINT-4B xVS-536, SINT-4BxSINT-2B, SINT-5BxVS-537C, con rendimiento de grano de 7.1 a 7.8 t ha⁻¹, mismos que superaron de un 6 a 17% al testigo comercial H-520; estas cruzas registraron planta y mazorca baja, buen aspecto y sanidad de planta y de mazorca, con buena cobertura de mazorca y bajo porcentaje de mazorcas podridas.

Heterosis, cruzas varietales, *Zea mays* L

Abstract

During the spring summer season in 2016, there were conducted an experiment of varietal crosses of maize in Cotaxtla and Carlos A. Carrillo in Veracruz state and huimanguillo in Tabasco state. The experiment was distributed in Alpha lattice design 7x4 with 28 entries and three replications in plots of two rows 5 meters long and 62,5 plants per hectare. From the combined analysis for the three locations, there was found high significant difference for Genotypes (G), For Environments (E), and for Interaction GxE. From the 28 varietal hybrids and according with the stability parameters, 25 were characterized as stables, one of them had good response in favorable environments and was consistent and two of them with better response in good environments but inconsistent. The best yield for varietal crosses at 0.01 of probability were SINT-2BxVS-536, SINT-3BxSINT-1BQ, SINT-4BxVS-536, SINT-4BxSINT-2B, SINT-5BxVS-537C, with 7.1 to 7.8 t ha⁻¹, of grain yield, which besides had from 6 to 17 % more grain yield than the commercial check H-520, these crosses registered short plant and ear height, good plant and ear aspect and sanity, good husk cover and low percentage of ear rot.

Heterosis, varietal crosses, *Zea mays* L

Citación: SIERRA-MACÍAS, Mauro, RODRÍGUEZ-MONTALVO, Flavio Antonio, GÓMEZ-MONTIEL, Noel, y ANDRÉS-MEZA, Pablo. Interacción genotipo ambiente en cruzamientos varietales de maíz para los estados de Veracruz y Tabasco, México. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2017. 1-1:10-16.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: sierra.mauro@inifap.gob.mx

Introducción

En México, el cultivo de maíz es el más importante por ser el alimento principal de la población, por su superficie sembrada, valor de la producción y ocupar el 20% de la población económicamente activa (Betanzos *et al.*, 2003; SAGARPA, 2012). El uso principal es en la alimentación humana con un consumo *per cápita* aparente de 209.8 kg. (Morris y López, 2000). En la región tropical del país se siembran 3.2 millones de hectáreas de maíz, de las cuales un millón están comprendidas en provincias agronómicas de buena y muy buena productividad y 100 mil hectáreas son sembradas bajo condiciones de riego, en las cuales, es factible el uso de semilla mejorada de híbridos y variedades sintéticas con mejor rendimiento bajo condiciones favorables de clima suelo y manejo por parte de los agricultores (Sierra *et al.*, 2004).

En el uso de semilla híbrida se aprovecha la heterosis en la producción de maíz al cruzar progenitores con relativa divergencia genética (Reyes, 1985; Gómez 1986; Vasal *et al.*, 1992a; Vasal *et al.*, 1992b). Reyes (1971), usó el patrón heterótico Trópico húmedo x Trópico seco en la formación de los híbridos H-503 y H-507. Sierra *et al.*, (2004), usaron como probadores líneas endogámicas con buena aptitud combinatoria específica (ACE), LT154, LT155, CML247, CML254, las cuales permitieron identificar líneas avanzadas y separar grupos heteróticos.

En el mejoramiento de maíz para el trópico se generan subproductos que son variedades de polinización libre, variedades sintéticas e híbridos de maíz (Sierra *et al.*, 2014). En híbridos es importante identificar progenitores con buena aptitud combinatoria, buen rendimiento *per se* y facilidad en la producción de semilla (Sierra *et al.*, 1992; Reyes 1985; Vasal *et al.* 1994).

Las cruces varietales representan una alternativa en la producción de maíz debido a la heterosis al cruzar dos variedades de polinización libre y es rentable la producción de semilla (Reyes, 1985).

La adaptabilidad de los genotipos permite conocer la respuesta a los diferentes ambientes definidos por el clima, el suelo y el manejo agronómico, (Eberhart y Russell, 1966). La interacción genotipo ambiente es el comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete diferentes ambientes (Márquez, 1992). El modelo de Eberhart y Russell (1966), utiliza el coeficiente de regresión para medir la respuesta de una variedad a distintos ambientes y desviación de regresión, que mide la consistencia de dicha respuesta. Variedad estable es aquella con coeficiente de regresión igual a 1 y desviación de regresión igual a 0. El modelo estadístico es:

$$Y_{ij} = \mu_i + b_i I_j + d_{ij} \quad (1)$$

Donde:

Y_{ij} = Media de la variedad i en el ambiente j
 μ_i = Media de la variedad i en todos los ambientes
 b_i = Coeficiente de regresión
 I_j = Índice ambiental
 d_{ij} = Desviación de regresión

Este modelo fue utilizado por Carballo y Márquez (1970) para clasificar la adaptabilidad de las variedades (Cuadro 1).

Cat	β_i	$S^2 d_i$	Descripción
A	=1	=0	Variedad estable
B	=1	>0	Buena respuesta en todos los ambientes pero inconsistente
C	<1	=0	Responde mejor en ambientes desfavorables y consistente
D	<1	>0	Responde mejor en ambientes desfavorables e inconsistente
E	>1	=0	Responde mejor en buenos ambientes y consistente

F	>1	>0	Responde mejor en buenos ambientes e inconsistente
Cat= Categoría, β_i = Coeficiente de regresión, S^2_{di} = Desviación de regresión			

Tabla 1 Clasificación de variedades, coeficientes de regresión y las desviaciones de regresión

Durante los últimos años se generaron híbridos y variedades con buen rendimiento, adaptados al trópico húmedo del Sureste del país, entre ellos H-520, VS-536, H-519C, V-537C, V-556AC y H-564C. (Sierra *et al.*, 1992b; Sierra *et al.*, 2008; Sierra *et al.*, 2004).

Objetivos

Conocer el rendimiento, adaptabilidad y las características agronómicas de cruzas varietales de maíz en los estados de Veracruz y Tabasco
Conocer la interacción genotipo ambiente de las cruzas varietales

Materiales y métodos

Localización

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el ciclo primavera verano 2016 en las localidades Campo Experimental Cotaxtla, CBTA 84 de Carlos A. Carrillo en Veracruz y Huimanguillo en el estado de Tabasco con clima Aw1, Aw2 y Am para cada localidad, respectivamente, las cuales, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (1981), corresponden a los climas cálido húmedo y subhúmedo zonas representativas donde el cultivo de maíz es importante.

Germoplasma utilizado

El germoplasma de maíz utilizado en la presente investigación son cruzas varietales de maíz formadas con variedades sintéticas experimentales pertenecientes a la raza Tuxpeño

Descripción de los experimentos

Durante el ciclo primavera verano 2016 se condujeron experimentos de cruzas varietales de maíz, bajo diseños alpha látice 7x4 con 28 tratamientos y tres repeticiones en parcelas de dos surcos de 5 m de largo en densidad de 62,500 pl ha⁻¹

Variables

Las variables registradas fueron días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, aspecto y sanidad de planta de mazorca, plantas acamadas, enfermedades; a la cosecha se registraron las variables de rendimiento de grano, pudrición de mazorca, humedad de grano.

Métodos estadísticos

Los diseños utilizados fueron Alpha látice 7x4 con 28 tratamientos y tres repeticiones. Se realizó un análisis individual para cada experimento y un análisis combinado de las cruzas varietales en los tres ambientes de evaluación (Reyes, 1990), para caracterizar las cruzas varietales en función de su respuesta los ambientes se hizo el análisis de parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell (1966). Las variables registradas fueron analizadas estadísticamente y la separación de medias fue con la DMS al 0.05 y 0.01 de probabilidad.

Resultados y discusión

Del análisis de varianza combinado para las cruzas varietales (Cuadro 2), se encontró significancia estadística al 0.01 de probabilidad para Genotipos (G), para localidades (A) y para la interacción GxA, siendo más importante la varianza debida al factor localidades.

Así también, el coeficiente de variación registrado fue de 12.78% valor relativamente bajo, que sugiere que el manejo de los experimentos y los datos obtenidos son confiables (Reyes, 1990).

De los 28 híbridos varietales evaluados y de acuerdo con los parámetros de estabilidad, 25 fueron caracterizados como estables, uno de ellos con buena respuesta en ambientes favorables y consistente y dos con respuesta mejor en buenos ambientes pero inconsistente (Eberhartt y Russell, 1966; Carballo y Márquez, 1970).

Fuente Variación	GL	CM
Genotipos (G)	27	2193557**
Ambientes (A)	2	122914605**
Interacción GxA	54	2124543**
Error	162	706816
CV		12.78%

B=Ciclo primavera verano; GL=Grados de libertad; CM=Cuadrados medios; CV= Coeficiente de variación

Tabla 2 Análisis combinado de cruzas varietales de maíz. Veracruz y Tabasco. 2016B

De las cruzas varietales estables, fueron sobresalientes al 0.01 de probabilidad, las cruzas SINT2BxVS-536, SINT3BxSINT1BQ, SINT4BxVS-536, SINT4BxSINT-2B, SINT-5BxVS-537C, con rendimiento de grano de 7.1 a 7.8 t ha⁻¹, mismos que superaron de un 6 a 17% al testigo comercial H-520 (Cuadro3), lo que los ubica como genotipos “deseables”, con la ventaja de mantener solamente dos progenitores variedades de polinización libre con mayor facilidad y rentabilidad de semilla;

Trat	Cruza	Cot	Huim	Carr	Prom	% Rel	Desc
1	SINT2BxVS-536	7993	6344	9157	7831*	117	E
18	SINT3BxSINT1BQ	7730	6007	7972	7236**	108	E
14	SINT4BxVS-536	8674	6053	6899	7208**	108	E
17	SINT4BxSINT2B	7635	5833	8107	7191**	107	E
9	SINT5BxV-537C	7246	5792	8296	7111**	106	E
12	SINT4BxSINT3B	7343	5019	8595	6985	104	E
8	SINT4BxSINT1BQ	7508	5033	8098	6879	103	E
20	VS-536xVS-537C	7140	5228	8134	6834	102	E
15	SINT5BxSINT1BQ	7009	4565	8541	6705	100	E
28	H-520	7419	5922	6736	6692	100	E
16	SINT5BxVS-536	7030	4858	8166	6685	100	E
23	SINT3B	7018	4355	8470	6615	99	E
11	SINT3BxSINT2B	7730	6055	6055	6613	99	E
3	SINT5BxSINT4B	7099	5123	7600	6607	99	E
21	SINT1BQ	8183	4572	7038	6598	99	E
19	SINT2BxVS-537C	7745	5127	6891	6587	98	E
7	SINT5BxSINT3B	7335	4911	7370	6539	98	BAC
6	SINT3BxVS-537C	6686	5420	7409	6505	97	E
13	SINT1BQxVS-536	6765	5394	7335	6498	97	E
2	SINT5BxSINT2B	7554	5708	6084	6449	96	E
10	SINT2BxSINT1BQ	7776	4815	6157	6249	93	E
24	SINT4B	6222	4563	7694	6160	92	E
22	SINT2B	7354	4764	6257	6125	92	E
27	V-537 C	5221	4220	8917	6120	91	BAI
26	VS-536	6951	4622	6507	6027	90	E
4	V-537CxVS-536	7123	5685	4458	5755	86	BAI
25	SINT5B	6999	4137	6071	5736	86	E
5	SINT4BxVS-537C	7166	5029	4969	5722	86	E
	PROMEDIO	7273.2	5184	7285.1	6580.8		
	CV	12.78					
	DMS 0.05	549.27					
	DMS 0.01	721.85					

Trat=Tratamiento, Cot=Cotaxtla, Huim=Huimanguillo, Carr=Carlos A. Carrillo, Prom=promedio, % Rel=Porcentaje relativo, E=Estable; BAI=Respuesta mejor en buenos ambientes pero inconsistente; BAC=Respuesta mejor en buenos ambientes y consistente

Tabla 3 Rendimiento y estabilidad de cruzas varietales de maíz. Veracruz y Tabasco 2016

Así también, se observa en estos cruzamientos la presencia de la variedad VS-536, de mayor uso comercial en el sureste de México (Sierra *et al.*, 1992b).

Indices ambientales

Los índices ambientales, de acuerdo con Eberhart Russell (1966), las localidades de Cotaxtla, y Carlos A. Carrillo, Ver., registraron valores positivos promedio con 7273 y 7285 kg ha⁻¹, para cada localidad respectivamente, mientras que la localidad de Huimanguillo Tabasco registró los endimientos medios más bajos con un valor para el índice ambiental negativo (-1397) (Tabla 4).

Ambiente	Rend Kg ha ⁻¹	Índices
Cotaxtla, Ver	7273	692
Carlos A. Carrillo, Ver.	7285	704
Huimanguillo, Tab	5184	-1397
Promedio	6581	

Tabla 4 Índices ambientales en evaluación de cruza varietales. CIRGOC 2016B

Estas cruza varietales registraron ciclo biológico intermedio con 51 a 53 días a floración masculina, altura de planta y mazorca baja con 217 a 255 cm y de 108 a 132 cm para altura de planta y mazorca, respectivamente, presentan buen aspecto y sanidad de planta y de mazorca, tolerantes al acame, con buena cobertura de mazorca, bajo porcentaje de mazorcas podridas y con buena posición de la mazorca lo que les permite mayor tolerancia al acame (Tabla 5).

Trat	Genealogía	Días a flor	Alt pl	Asp pl	Asp mz	San pl	San mz	% acame	% cob
1	SINT-2BxVS-536	51	238	1.7	2.3	1.8	2.2	7.43	0.79
2	SINT-5BxSINT-2B	52	225	2.3	2.2	2.5	2.2	8.12	9.41
3	SINT-5B X SINT-4B	53	237	2.7	2.7	2.3	2.3	12.26	9.15
4	V-537C X VS-536	51	227	2.2	2.8	2.3	2.3	16.5	2.98
5	SINT-4B X VS-537C	51	223	2.5	2.5	2.2	2.5	8	4.14
6	SINT-3B X VS-537C	52	245	2.5	2.5	2.5	2.7	5.03	4.45
7	SINT-5B X SINT-3B	52	227	2.3	2.7	2.3	2.2	7.05	6.03
8	SINT-4B X SINT-1BQ	52	235	2	2.2	2	2.2	3.34	0.67
9	SINT-5B X VS-537C	51	225	2.3	2.2	2.3	2.2	5.9	5.02
10	SINT-2BxSINT-1BQ	52	222	2.2	2.2	2.3	2.2	5.79	2.9
11	SINT-3BxSINT-2B	52	225	2.5	2.3	2.2	2.3	1.99	1.39
12	SINT-4B X SINT-3B	52	223	1.8	2.5	2.2	2.3	5.09	3.35
13	SINT-1BQ X VS-536	53	238	2.3	2.5	2.5	2.2	37.95	2.54
14	SINT-4B X VS-536	51	228	2.3	2.2	2.2	2.3	11.36	5
15	SINT-5B X SINT-1BQ	52	217	2.2	2.3	2.2	2.3	7.79	2.18
16	SINT-5B X VS-536	51	235	2.3	2.3	2.2	2.2	20.15	3.69
17	SINT-4B X SINT-2B	52	227	2.2	2.7	2.3	2.7	13.58	3.29
18	SINT-3BxSINT-1BQ	51	230	2.3	2.5	2.3	2.3	1.39	2.56
19	SINT-2B X VS-537C	51	255	2.2	2.2	2.7	2.2	15.26	8.99
20	VS-536xVS-537C	52	253	2.2	2.8	2.2	2.7	24.66	2.66

21	SINT-1BQ	51	220	2.3	2.2	2.7	2.2	0	3.27
22	SINT-2B	52	212	2.7	2.3	2.3	2.3	4.94	1.95
23	SINT-3B	51	242	2.5	2.8	2.5	2.3	4.77	8.82
24	SINT-4B	52	225	2.3	2.5	2.3	2.3	2.07	2.38
25	SINT-5B	52	223	2	2.3	2.3	2	3.98	8.83
26	VS-536	52	232	2.5	2.7	1.7	2.7	24.83	4.78
27	V-537 C	52	225	2.3	2.8	2.5	2.5	13.53	5.87
28	H-520	51	228	2.2	2.3	2	2.2	14.76	4.11

Trat=tratamiento, alt pl=Altura de planta, asp pl=Aspecto de planta, Asp mz=Aspecto de mazorca, San pl=Sanidad planta, San mz=Sanidad mazorca, % Cob=Porcentaje de mala cobertura % Pod=Porcentaje de mazorcas podridas

Tabla 5 Características agronómicas de cruza varietales de maíz. Cotaxtla 2016B

Conclusiones

Las cruza varietales con mejor rendimiento y características agronómicas fueron: SINT2BxVS-536, SINT3BxSINT1BQ, SINT4BxVS-536, SINT4BxSINT2B, SINT5BxVS-537C. En las cruza sobresalientes participa variedad VS-536, de mayor uso comercial en el sureste de México. De los 28 híbridos varietales, 25 fueron caracterizados como estables, uno de ellos con buena respuesta en ambientes favorables y consistentes y dos con respuesta mejor en buenos ambientes pero inconsistente

Las cruza varietales representan una ventaja importante en el mantenimiento de los progenitores, mayor rentabilidad y facilidad en la producción comercial de semilla.

Referencias

Betanzos M., E.; Gómez M., N.; Ortega C., A.; Peña R., A.; Preciado O., R.E.; Ramírez D., J.L.; Velásquez C., G. 2003. Propuesta de reorganización del programa nacional de mejoramiento genético de maíz del INIFAP. Documento de trabajo. INIFAP. 66 p.

Carballo, C., A. y Márquez, S. F. 1970. Comparación de variedades de maíz del Bajío y de la mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5(1): 129-146.

- Eberhart S.A. and Russell W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40
- García., E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3ª Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México D.F. México. 252 p.
- Gómez M.N. 1986. Aptitud combinatoria de maíces tropicales y subtropicales en la región de transición baja de Guerrero. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 8: 3-19.
- Márquez S., F. 1992. La interacción genético ambiental en genotecnia vegetal. *In: Memorias del simposium interacción genotipo ambiente en genotecnia vegetal del 26 al 27 de marzo en Guadalajara, Jal., México.* p. 1-27
- Morris M.L.; y López P., M.A. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1966-1997. México D.F. CIMMYT 45 p.
- Reyes 1990. Diseño de experimentos aplicados. Ed trillas 3ª Ed. México D.F. 348p
- Reyes C., P. 1985. Fitogenotecnia básica y Aplicada. AGT Editor S.A. México. 460 p.
- Reyes C., P. 1971. Genotecnia del maíz para tierra caliente. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. Departamento de Agronomía. Monterrey, N.L. México. 138p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2012) *Anuario estadístico de la producción agrícola de los estados unidos Mexicanos.* <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (Cons. 11/2014).
- Sierra, M. M.; Rodríguez, M. F. A., Palafox, C. A., Gómez, M., N.; Espinosa, C., A. 2014. Síntesis histórica del mejoramiento genético de maíz para el trópico húmedo de México. Cap. De Libro en Aportaciones en ciencias agronómicas y ambientales. Universidad Autónoma de Chapingo. p. 20-30
- Sierra M., M; Palafox C., A.; Rodríguez M., F.A.; Espinosa C., A.; Gómez M., N.; Caballero H., F.; Barrón F., S.; Zambada M., A.; y Vásquez C., G. 2008. H-520, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agricultura Técnica en México* 34 (1): 119-122.
- Sierra M., M; Márquez S., F.; Valdivia B., R.; Córdova O., H.; Lezama G., R.; Pescador R., A. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz (*Zea mays* L). *Agric. Téc. Méx.* Vol 30 (2): 169-181
- Sierra M., M.; Rodríguez M.,F.A.; Castillo, G., R.A. y Márquez S., F. 1992. La aplicación de los parámetros de estabilidad en el mejoramiento de maíz de la región sur de México. *In: Memorias de Simposium de Interacción Genotipo-Ambiente en Genotecnia Vegetal del 26 al 27 de marzo de 1992.* Sociedad Mexicana de Fitogenética (SOMEFI). Guadalajara, Jal. p 239-260.
- Sierra M., M; Rodríguez M., F; Castillo G., R; Preciado O., R.E. y Márquez S., F. 1992b. VS-536 variedad sintética de maíz para el trópico de Veracruz y regiones similares. Folleto Técnico Núm. 2 Campo Cotaxtla. SARH. INIFAP. CIRGOC. 11 p.
- Vasal S., K.; Vergara N. y Mc Lean.S. 1994. Estrategias en el desarrollo de híbridos tropicales de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 5: 184-189.

Vasal S., K; Srinivasan G. Crossa J. and Beck D.L.1992a. Heterosis and combining ability of CIMMYT's subtropical and temperate early maturity maize germplasm. *Crop sci.* 32(4): 884-890.

Vasal S., K; Srinivasan G. Han C., y Gonzalez F. 1992b. Heterotic patterns of eighty eight white subtropical CIMMYT maize lines. *Maydica* 37: 319-327.