

Determinación del nivel de Heterosis en híbridos de Maíz para la Comarca Lagunera

LLAVEN-VALENCIA, Genny, PEINADO-FUENTES, Luis Alberto, COYAC-RODRÍGUEZ, José Luis y SAUCEDA-ACOSTA, Raúl H.

G. Llaven´, L. Peinado´´, J. Coyac´ y R. Saucedá´

´ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Valle Del Fuerte, Carretera Internacional México-Nogales Km. 1609, Col. Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, México, CP 081101

´´ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Periférico y Carretera a Santa Fe, Torreón, Coahuila, C.P. 27000

llaven.genny@inifap.gob.mx

E. Figueroa, L. Godínez, F. Pérez (eds.) Ciencias de la Biología y Agronomía. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2015.

Abstract

Corn hybrid generation, implies controlled self-pollination, getting the lines to determine which of the selfed can have good combination to produce high yielding crosses and commercial use for seed production. Classical method for hybrids obtainment is to develop pure lines through inbreeding and continuous selection for several generations, until lines with sufficient homozygous presenting desirable traits. Therefore, the objective of this study was to determine the heterosis level for yield of experimental maize hybrids in La Comarca Lagunera, Mexico. The work was developed the Autonomus Agrarian University “Antonio Narro”, Laguna Campus (UAAAN-UL). In 2010, six CIMMYT’s lines were selected. The history of evaluations carried out by INIFAP through 2010-2011 period for that region. In march, 2011, were done the possible crosses between the parents according with Griffing’s method 2 (1956) obtaining 15 crosses. Parental lines (P) showed a per-sé performance ranged from 6279 kg ha⁻¹ to 8728 kg ha⁻¹. These yields were higher considering that are inbred lines, but with a wide range of adaptation, including for the Comarca Lagunera. Heterosis level ranged from 44% to 81%, for the first five high yield hybrids. Finally, a parental four line was present in four of the five best hybrids, indicating that is feasible to use this in future crosses to get commercial hybrids.

6 Introducción

El desarrollo del cultivo del maíz híbrido puede ser considerado como el más grande acontecimiento del mejoramiento de plantas. Durante el siglo XX, los métodos de mejoramiento en maíz se enfocaron en aprovechar la heterosis (Matzinger *et al.*, 1959; Srinivasan *et al.*, 1993; Preciado *et al.*, 2005; Virgen *et al.*, 2014). Sin embargo, en México el abastecimiento de semillas y uso de variedades nativas y mejoradas, es estratégico e influye en la posibilidad de elevar la producción, ya que, durante los últimos años ocurrieron modificaciones al marco legal que han influido para la situación de crisis que actualmente se vive en el campo mexicano, por lo tanto, éstos cambios acentuaron la distorsión y desequilibrio en la producción y abastecimiento de semillas, con excesiva concentración en unas cuantas empresas privadas del control de este insumo fundamental en la estrategia agrícola del país (Espinosa *et al.*, 2013).

La formación híbridos de maíz, involucra la obtención de las líneas por autopolinización controlada, determinar cuáles de las autofecundadas pueden combinarse en cruzas productivas y la utilización comercial de las cruzas para la producción de semilla (Virgen *et al.*, 2014). La producción comercial de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de cruzas simples se inició en EE.UU. en 1960 porque ya existían líneas de alto rendimiento factibles de usarse como progenitores hembra. Sin embargo, en México todavía no existen líneas altamente productivas además, el costo elevado de la semilla de híbridos de crusa simple ha limitado su producción comercial, dicha semilla de híbridos de maíz de cruzas simples es rentable cuando las líneas progenitoras hembra tienen un rendimiento mínimo de 3000 kg ha⁻¹, también, otros factores que limitan la producción de semilla de estos híbridos son: la condición homogénea de las líneas que ocasiona poco amortiguamiento ante los cambios en los ambientes de producción, la falta de mejoramiento en las poblaciones usadas como fuente de líneas y el riesgo de perder el control de los progenitores (Caballero *et al.*, 2005; González *et al.*, 1997; Guillen *et al.*, 2009; Preciado *et al.*, 2005; Terron *et al.*, 1997).

Para obtener líneas de maíz con alto potencial de rendimiento es necesario disponer de poblaciones base de tamaño grande, variables, y de alto rendimiento, y usar sistemas de endogamia moderado, su rendimiento puede aumentar mediante selección y mejoramiento de las líneas existentes (Álvarez *et al.*, 1993; Caballero *et al.*, 2005; De la Rosa *et al.*, 2006; Fuentes *et al.*, 1993).

Las líneas con bajos niveles de endogamia son vigorosas, por lo cual son más rendidoras y su uso como progenitores de híbridos de cruce simple aumenta la producción de semilla del progenitor hembra, mediante los híbridos obtenidos se tiene un rendimiento igual o superior y una mayor homogeneidad genética (Preciado *et al.*, 2005; Terron *et al.*, 1997; Virgen *et al.*, 2014). Las cruces dialélicas permiten estimar los componentes de la variación genética, identificar las combinaciones superiores y seleccionar los mejores progenitores para el diseño de métodos de mejoramiento eficientes, como la hibridación por heterosis, el cual consiste, en un fenómeno biológico donde se manifiesta la superioridad del híbrido respecto a sus progenitores (Guillen *et al.*, 2009; Mahdi *et al.*, 2011; Srinivasan *et al.*, 1993; Preciado *et al.*, 2005; Virgen *et al.*, 2014).

La diversidad genética y aptitud combinatoria son componentes importantes para obtener altos valores de heterosis en la formación de híbridos de maíz. La aptitud combinatoria general proporciona información sobre que líneas puras deben producir los mejores híbridos cuando se cruzan con muchas otras líneas, así mismo se ha definido como el valor medio F1' s de sus cruces con otras líneas (González *et al.*, 1997; Matzinger *et al.*, 1959; Terron *et al.*, 1997). Según un estudio del Programa de Economía del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en 1986, los híbridos ocuparon el 36% del área total dedicada al cultivo de maíz en el tercer mundo, y el incremento de agricultores capaces de adoptar híbridos, ha provocado el interés de varios programas nacionales por la creación de híbridos. El Programa de Maíz del CIMMYT inició su propio programa de híbridos con objetivos generales de generar nuevos tipos de germoplasma para que se utilicen en la generación de híbridos y además dar información relacionada con la utilidad de los materiales tropicales y subtropicales (Fuentes *et al.*, 1993; González *et al.*, 1997; Guillen *et al.*, 2009).

El método clásico para la formación de híbridos consiste en desarrollar líneas puras por medio de endogamia y selección continua durante varias generaciones, hasta lograr líneas con suficiente homocigosis que presentan características deseables, menciona que el éxito del mejoramiento genético está determinado por el producto final, en nuestro caso será el híbrido, así mismo, indica que con el mejoramiento genético se logra valorizar a las líneas progenitoras de los híbridos mediante las pruebas de aptitud combinatoria general y específica, logrando con ello determinar la capacidad de las líneas para producir híbridos superiores cuando se cruzan con otras líneas. (Fuentes *et al.*, 1993; González *et al.*, 1997; Preciado *et al.*, 2005; Virgen *et al.*, 2014). Si los híbridos están formados por líneas que han pasado por un largo proceso de selección, como los es el sobrevivir a alrededor de 4 a 5 autofecundaciones, y en cada una de estas etapas ser seleccionadas hacia varias características como rendimiento, resistencia a enfermedades e insectos, acame de raíz y de planta, por lo tanto cuando llegan a la etapa final han dejado atrás bastante carga genética, así que los híbridos que llegan a liberarse en forma comercial portan bastantes genes deseables y pocos genes indeseables, por estas razones, los híbridos pueden ser usados exitosa y ventajosamente en programas de mejoramiento (De la Rosa *et al.*, 2006; Srinivasan *et al.*, 1993; Preciado *et al.*, 2005).

El primer híbrido de maíz produjo 15 por ciento más que el de la polinización libre. El uso de semilla híbrida comercial se remonta a los 30's en Estados Unidos y, en México los primeros híbridos se produjeron en 1953 (Mahdi *et al.*, 2011; Matzinger *et al.*, 1959; Srinivasan *et al.*, 1993). Los estudios indican que desde 1930, entre el 40% y 50% de las ganancias de rendimiento en maíz se debe a los cambios en el manejo del cultivo como aplicación de fertilizantes y densidades de siembra, mientras que la otra parte (40% a 60%) a cambios en el genotipo, por lo tanto, a nivel mundial el uso de semilla híbrida es muy variable (Álvarez *et al.*, 1993; Fuentes *et al.*, 1993; Mahdi *et al.*, 2011).

Las semillas de calidad de variedades mejoradas de maíz son el insumo para aumentar la productividad del cultivo, por ejemplo, en México, se siembran anualmente más de ocho millones de hectáreas con maíz, en una amplia diversidad de ambientes que van desde el nivel del mar hasta los valles altos (arriba de 2.200 msnm), con una amplitud de sistemas termo pluviométricos que van desde los muy drásticos hasta los muy benignos, y con esquemas de producción desde el auto abasto hasta altamente comercial. Debido a esta gran diversidad de “sistemas de producción”, se estima que el uso de la semilla mejorada en México es menor al 25 %, de las cuales, se cosecharon 4, 537 ha con un rendimiento de semilla de 7.72 ton ha⁻¹ para una producción de 35, 025 toneladas; cantidad necesaria para sembrar 1, 751, 250 hectáreas, que constituyen el 21.81% de la superficie sembrada con este cultivo (Preciado *et al.*, 2005). En países en vías de desarrollo solamente el 39% de la superficie se siembra con maíces híbridos y en los países desarrollados el 99%, en México, el 15% de los agricultores utilizan materiales mejorados y, en regiones como la Comarca Lagunera se estima que más del 90% de los productores de forraje recurre a esta tecnología mediante el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ya que éste, participa en la generación de variedades de maíz adaptadas a las diferentes regiones del país, es la institución encargada de abastecer la demanda de semilla categoría registrada a empresas de semillas; además, desarrolla la tecnología de semilla para optimizar la producción (Caballero *et al.*, 2005; De la Rosa *et al.*, 2006; Guillen *et al.*, 2009). Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar el nivel de heterosis en rendimiento de híbridos experimentales de maíz en la zona de la Comarca Lagunera en el municipio de Torreón, Coahuila.

6.1 Materiales y métodos

Establecimiento de ensayos: el trabajo se desarrolló en la Comarca Lagunera, durante 2011 en la localidad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL), que corresponden al municipio de Torreón, del estado de Coahuila, México. La Comarca Lagunera se ubica entre los paralelos 24° 22'12" y 26° 47'24" LN y, los meridianos 102° 15'36" y 104° 45'36". Los suelos están comprendidos dentro del grupo xerozem, con bajo contenido de materia orgánica. Predominan los suelos de textura migajón arcillo-arenosa y arcilloso con buena capacidad de retención de humedad e infiltración de agua; el pH fluctúa de 7.2 a 8.8 sin problemas de sodicidad (Sánchez *et al.*, 2002). En el 2011, se seleccionaron los 6 materiales originarios del CIMMYT. Para eso se utilizaron los antecedentes de evaluaciones realizadas por INIFAP durante el periodo 2010–2011 en la Comarca Lagunera. En marzo del mismo año, con los 6 progenitores seleccionados se realizaron los cruzamientos posibles entre los progenitores de acuerdo al método-II de Griffing (1956) formándose 15 cruza.

Tabla 6 Origen de los progenitores

Progenitor	Pedigree	Origen
P1	AN-77-185	Cimmyt
P2	CML-505-41	Cimmyt
P3	CML-508-43	Cimmyt
P4	CML-509-44	Cimmyt
P5	AN-82-190	Cimmyt
P6	AN-78-186	Cimmyt

Diseño experimental: Se utilizó un diseño experimental de lattice 5x5 con tres repeticiones, la parcela experimental fue de dos surcos de 3.5 m de largo y 0.75 m entre surcos, a una distancia entre plantas de 0.19 m. Se fertilizó con la fórmula 200-180-00; el cultivo se mantuvo libre de malezas y de plagas.

Al momento de la cosecha se registró el peso fresco de mazorca y el porcentaje de humedad del grano y el rendimiento de grano en ton/ha fue calculado por parcela, asumiendo el 80% de desgrane y ajustándolo al 15% de humedad, se realizó un análisis de varianzas de bloques por repetición bajo el análisis estadístico de latice 5x5. Determinación de heterosis: Se determinaron los porcentajes de heterosis en la que se consideró el rendimiento de grano de las 15 cruza obtenidas a partir de las 6 líneas provenientes del CIMMYT y UAAAN con base en el promedio de los progenitores, comparando con resultados reales de cada cruza y el mejor progenitor (Robles, 1986).

Respecto al promedio de progenitores

$$\text{Heterosis} = h = \text{MC/PM} \times 100$$

MC= Media de la Cruza
PM= Progenitor medio [(P1 + P2) /2]

Respecto al mejor progenitor

$$\text{Heterosis} = h = \text{MC/PS} \times 100$$

MC= Media de la Cruza
PS= Progenitor superior

6.2 Resultados y discusión

El análisis de varianza, se presenta en la tabla 6.1 con diferencias altamente significativas para la fuente de variación tratamientos (Trat). Las diferencias se atribuyen a la diversidad genética de los materiales evaluados, ya que se incluyen líneas y sus respectivos híbridos.

Tabla 6.1 Significancia de cuadrado medio para rendimiento de grano

FV	GL	REN (Ton/Ha)
REP	2	1197831.5
BLO (REP)	8	1464735.8
Trat	20	9373759.7**
EE	40	1777135.3
CV		13.41

*Significativo al 0.05 y 0.01

Se observó que las líneas progenitoras (P) presentaron un rendimiento per-se que osciló de 6,279 kgha⁻¹ del P1 a 8,728 kg ha⁻¹ del P3 (tabla 6.2). Estos rendimientos son muy superiores considerando que son líneas endogámicas, pero con un rango de adaptación amplio inclusive para la Comarca Lagunera.

Tabla 6.2 Se presenta el rendimiento de grano de cada línea progenitora proveniente del CIMMYT

Pedigree	Progenitor	REN (Ton/Ha)
AN-77-185	P1	6,279
CML-505-41	P2	7,299
CML-508-43	P3	8,728
CML-509-44	P4	6,537
AN-82-190	P5	7,321
AN-78-186	P6	7,252
PROMEDIO		7,236
DMS 0.05		118.28
CV		853.46

Para mostrar el efecto de heterosis (h) se escogieron 10 híbridos (F1), los cinco con mejor y con el menor rendimiento (tabla 6.3). El nivel de heterosis más alto lo exhibió el híbrido P1 x P4 con 81%. Entre los cinco con mayor rendimiento, la heterosis osciló de 44 a 81%. El progenitor P4, estuvo presente en cuatro de los cinco mejores híbridos, lo cual indica que este progenitor es factible utilizarlo en futuras cruzas para híbridos comerciales. El nivel más bajo de heterosis fue de 0.7% donde intervienen los progenitores P4 x P1, que es la recíproca del híbrido con mayor heterosis, lo que en teoría debería ser al menos iguales, sin embargo al parecer el P1 como macho, no combina con P4 pero tampoco lo hace con P5 y P6.

Tabla 6.3 Rendimiento de grano las líneas progenitoras (P), 10 híbridos (F1) y el porcentaje de heterosis(h)

Híbridos (F1)	Ren	P1	P2	F1	% heterosis
P1 x P4	12,330	6279	7299	12330	81
P4 x P6	12,313	7299	6537	12313	77
P4 x P5	12,305	7299	7321	12305	68
P3 x P1	11,573	8728	7252	11573	44
P4 x P3	11,567	7299	8728	11567	44
P2 x P6	10,178	6279	6537	10178	58
P3 x P5	10,145	8728	7321	10145	26
P6 x P1	10,133	6537	7252	10133	46
P4 x P1	7,333	7299	7252	7333	0.70
P5 x P1	6,606	7321	7252	6606	9.3

6.3 Conclusiones

De las líneas evaluadas en la Comarca Lagunera la combinación P4 X P1 presentó el mayor valor de efecto relacionado a la heterosis con un 81%, por lo que se considera la combinación más adecuada para aprovechar la porción aditiva de la varianza genética a través de selección recurrente, además de su utilización como tal, y la derivación de más combinaciones para la formación de híbridos. Debido a, que el progenitor P4 participó en cuatro de las mejores cinco combinaciones en la formación de híbridos.

6.4 Referencias

- Álvarez R. A., Garay, G., Giménez, J., & Ruiz de Galarreta, J. I. (1993). Heterosis entre dos sintéticos de maíz expresada sobre caracteres morfológicos y reproductivos. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales*, 8(3), 333-340.
- Caballero, A. P., Valle, O. H. T., Macías, M. S., Martínez, A. Z., & Orellana, H. C. (2005). Híbridos trilineales de maíz comunes y de alta calidad de proteína para Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 201-206.
- De la Rosa, L. A., De León C. H., Rincón S. F. & Martínez, Z. G. (2006). Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados al bajío mexicano. *Rev. Fitot. Mex.* Vol 29 (3): 247-254.
- Espinosa, C. A., Turrent, F. A., Tadeo, R. M., San Vicente, T. A., Gómez, M. N., Valdivia, B. R. & Zamudio, G. B. (2013). Ley de semillas y ley federal de variedades vegetales y transgénicos de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(2), 293-308.

- Fuentes, M., Quemé, J. L., & Pérez, C. (1993). NOTA TECNICA EFECTOS DE APTITUD COMBINATORIA GENERAL E IDENTIFICACIÓN DE HÍBRIDOS TRIPLES DE MAÍZ (*Zea mays* L) GRANO BLANCO. PROGRAMA REGIONAL DE MAÍZ (PRM), 1991. *Agronomía Mesoamericana*, 4, 71-76.
- González, S., Córdova, H., Rodríguez, S., De León, H., & Serrato, V. M. (1997). Determinacion de un patron heterotico a partir de la evaluacion de un dialelo de diez lineas de maiz subtropical. *Agron Mesoam*, 8, 1-7.
- Guillen, C. P., De la Cruz, L. E., Castañón, N. G., Osorio, O. R., Brito, M. N. P., Lozano, R. A., & López, N. U. (2009). Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 101-107.
- Mahdi, Z., Rajab, C., Eslam, M. H., Mohammad, R. B., & Kouros, O. (2011). Gene action of some agronomic traits in corn (*Zea mays* L) using diallel cross analysis. *African Journal of Agricultural Research*, 6(3), 693-703.
- Matzinger, D. F., Sprague, G. F. & Cockerham, C. C. (1959). Diallel crosses of maize in experiments repeated over locations and years. *Agron. Jour.* 51: 346-350.
- Preciado, O. R. E., Terrón, I. A. D., Gómez, M. N. O., & Robledo, G. E. I. (2005). Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agronomía Mesoamericana*, 2(16), 145-151.
- Sánchez, R. S., Arellano, A. O., López, J. D., & Padilla, S. B. (2002). Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en la Comarca Lagunera, México. *Terra*, 20 (3), 329-336.
- Srinivasan, G., Vasal, S. K., González, F., Pandey, S., Vergara, N. (1993). Rendimiento y estabilidad de híbridos de maíz de cruces simples evaluadas en Colombia, México y Centroamérica. *Agron. Mesoam.* 4: 23-29.
- Terron, A., Preciado E., Córdova H., Mickelson H. & López R. (1997). Determinación del patrón heterótico de 30 líneas de maíz derivadas de la población 43SR del CIMMYT. *Agronomía Mesoamericana* 8(1):26-34.
- Virgen, V. J., Zepeda, B. R., Ávila P. M., Espinosa, C. A., Arellano V. J., & Gómez, V. A. (2014). Producción de semilla de líneas progenitoras de maíz: densidad de población e interacción. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 323-335.