

APORTES DE CRUZAS DE LÍNEAS TEMPLADAS Y TROPICALES DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN AMBIENTES DE SIEMBRA TARDÍA EN LA REGIÓN CENTRAL DE ARGENTINA

Ferreyra, M. L.^{1*}; Biasutti, C. A.²

¹ INTA E.E.A Manfredi- Ruta Nacional nº 9- km 636. Cp: 5988. Manfredi. Córdoba. Argentina.

² Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

*E-mail: Ferreyra.maria@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

El maíz desempeña un papel económico importante en todo el mundo. Es uno de los cereales más utilizados como base para la alimentación humana y/o animal y como suministro de materias primas para la producción de energía y la industria. A pesar de su origen tropical, el maíz se cultiva en entornos muy diversos. De hecho, el área de siembra cubre un amplio rango de latitudes, desde los 58º de latitud norte en Canadá hasta los 40º de latitud sur en Argentina y Chile (Fischer et al., 2014). En Argentina, la principal limitación para la producción de maíz es la disponibilidad de agua. La producción de maíz se ha alejado de la zona templada de producción tradicional hacia ambientes semiáridos y fechas de siembra tardías (<700 mm por año) con una mayor frecuencia de eventos de estrés térmico (Maddonni, 2012). Los agricultores han implementado esta práctica para reducir el riesgo de déficit hídrico durante el periodo crítico de floración (Otegui, 2021) a pesar de la disminución de las condiciones ambientales (radiación y temperatura) para el crecimiento de los cultivos durante el periodo reproductivo. Comercialmente, los híbridos que lideran las preferencias de los productores de maíz se caracterizaron por ser producto del cruzamiento de líneas templadas. Sin embargo, se han promovido las ventajas de los híbridos tropicales de maíz ya que pueden mostrar mayor adaptación al medio cuando se retrasa la fecha óptima de siembra (Valentinuz et al., 2009).

A pesar de las mejoras genéticas, los materiales tropicales siguen teniendo un potencial de rendimiento inferior al de los materiales templados (Ortiz et al., 2010). Como resultado, algunos mejoradores han producido híbridos comerciales cruzando individuos de grupos heteróticos de origen templado con otros de origen tropical (por ejemplo, híbridos templados por tropicales). Así, es posible combinar las características de alto potencial de rendimiento con las de mejor adaptación a ambientes tropicales (Abadassi y Hervé, 2000; Vasic et al., 2006; Whitehead et al., 2006). Además, Rattalino y Otegui, (2013) concluyen que el fondo genético tropical no

compromete el rendimiento potencial y confiere mayor capacidad para soportar los efectos del calor.

Sobre la base de esta información, se planteó la hipótesis que los híbridos con germoplasma tropical o templado por tropical producirían rendimientos superiores a los híbridos con germoplasma templado en condiciones secas en épocas de siembra tardía. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento del germoplasma tropical en híbridos de maíz en siembras tardías.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 15 híbridos experimentales provenientes del cruzamiento de cuatro líneas de germoplasma templado y dos líneas de germoplasma tropical (**Tabla 1**).

Tabla 1. Origen, ambiente de adaptación y referencias de las líneas endocriadas empleadas en la obtención de los híbridos.

Padres	Ambiente de adaptación	Origen	Denominación
LP917	Templado	DK752xB73	P1
LP918	Templado	Ax888	P2
LP562	Templado	(Flint Synthetic x Morgan 370) x Flint Synthetic	P3
LP179	Templado	Synthetic derivation (Suwan) selected for adaptation to the Midwestern United States and subsequently introduced in Argentina.	P4
L4	Tropical	16467-110-4	P7
L7	Tropical	52-2	P8

Los cruzamientos se realizaron utilizando un diseño de apareamiento en paralelo basado en el método IV de Griffin (1956), que sólo incluye cruzamientos F1 directos, durante un período de dos años antes de la evaluación.

Los híbridos obtenidos del cruzamiento fueron evaluados en dos localidades de la provincia de Córdoba: Manfredi (MF) y Villa María de Río Seco (RS) durante dos años: 2014/2015 y 2015/2016. Los híbridos se dispusieron en diseños de bloques completos al azar en cada ambiente con dos repeticiones por ambiente. Las parcelas se sembraron manualmente en fechas de siembra tardías. En RS, el año 1 el 01/06/2015 y el año 2 el 01/05/2016; en MF, el año 1 el 19/12/2014 y el año 2 el 22/12/2015.

El tamaño de las parcelas fue de cuatro hileras de seis metros de longitud. La densidad de siembra utilizada fue de 65000 pl ha⁻¹, tomando como referencia la densidad más utilizada en sistemas de siembra tardía en Argentina. (Gayo y Brihet, 2018). La distancia entre hileras fue en todos los casos de 0,52 m. La disponibilidad total de N para el cultivo fue de 135 kg N ha⁻¹. La cosecha final se realizó en las dos hileras centrales y se descartaron las cuatro primeras plantas de cada hilera.

La siembra se realizó en condiciones de secano en ambos años. En el momento de la siembra y en la madurez fisiológica se tomaron muestras de suelo para medir el agua útil disponible en el suelo hasta dos metros de profundidad. También se incluyó en el análisis el agua disponible histórica, según la carta de suelos (INTA, 1987; Gobierno provincial de Córdoba, 2019). Los valores de temperatura media (TMedia), mínima (TMin) y máxima diaria (TMax), precipitaciones, radiación global y evapotranspiración potencial (ETP) según datos de Priestly y Taylor, (Priestly y Taylor, 1972) se obtuvieron de la estación de medición ubicada en INTA, Manfredi y de la estación perteneciente a la Bolsa de Cereales de Córdoba ubicada en la localidad de Villa de María de Río Seco. La evapotranspiración del cultivo se calculó según Priestly y Taylor, (Priestly y Taylor, 1972).

Los caracteres medidos fueron altura de planta (ALTPL), estimada en cm desde la superficie del suelo hasta el nudo donde se inserta la panícula y prolificidad (PROL), estimada como la relación entre el número total de espigas cosechadas y el número total de plantas en la parcela. El número de granos por m² (NGR) se registró en el momento de la cosecha. El peso de mil granos (PGR) se midió recogiendo manualmente las espigas de cada planta individual. Los granos se pesaron para determinar el rendimiento en granos de la planta y se estimaron para una superficie de una hectárea (RENDHA, kg ha⁻¹).

Para cada una de las variables recogidas se realizó un análisis de varianza mediante un modelo lineal general y mixto. Además, se estimaron los componentes de varianza del genotipo, del ambiente y de la interacción genotipo-ambiente.

Estos resultados se obtuvieron a partir de un modelo lineal mediante la siguiente fórmula:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \lambda_{ij} + e_{ij}$$

donde y_{ij} es el valor de cada una de las variables de respuesta para el i -ésimo origen y el j -ésimo entorno. μ representa la media general, τ_i representa el efecto del i -ésimo origen, γ_j (j), el efecto del j -ésimo ambiente. λ_{ij} es el efecto de la interacción genotipo-ambiente y e_{ij} es el término de error que se supone normalmente distribuido con una media de 0. Todos los análisis se realizaron utilizando el programa Infogen (Di Rienzo et al., 2015).

RESULTADOS

Datos meteorológicos

Las precipitaciones durante el año 1 fueron menores en el ambiente RS con un mínimo de 556 mm (**Tabla 2**). Por el contrario, las precipitaciones ocurridas durante los años de evaluación fueron superiores a las históricas en MF. Tanto la temperatura media como la máxima fueron superiores a los valores históricos en las dos localidades durante los dos años de evaluación.

Los valores más altos de evapotranspiración potencial acumulada anual se obtuvieron en RS, pero en ambas localidades esta variable fue superior al valor histórico de cada localidad.

En MF1, el agua útil disponible en el perfil del suelo estuvo muy próxima a los valores históricos en el momento de la siembra; en MF2, RS1, RS2 la disponibilidad de agua útil estuvo por debajo de estos valores (**Tabla 3**).

Rendimiento en grano y sus componentes

El rango de rendimiento se situó entre un mínimo de 4995 kg/ha obtenido por los híbridos de origen TEM y un máximo de 6075 kg ha⁻¹ obtenido por los híbridos de origen TR, siendo el valor medio observado de 5668 kg ha⁻¹ (**Tabla 4**).

El termino origen resulto estadísticamente significativo, mientras que el ambiente y la interacción origen-ambiente no fueron significativa para RENDHA. Se observó que los híbridos de origen tropical presentaron mejor rendimiento que los híbridos de origen templado, que mostraron bajo rendimiento en todos los ambientes, además no se diferenciaron estadísticamente de los híbridos de origen tropical por templado.

Para la variable número de granos (NGR), sólo el ambiente fue altamente significativo. Los híbridos de origen templado presentaron los valores más bajos en comparación con los demás híbridos. Los híbridos de origen tropical presentaron valores más altos que los híbridos de origen templado, revelando una diferencia estadística altamente significativa.

Para el peso de mil granos (PGR), también el ambiente fue altamente significativo, mientras que el origen y la interacción entre ambos términos resulto no significativa. Los híbridos de origen tropical por los de origen templado

presentaron los valores más altos aunque no fueron estadísticamente significativos.

Para la prolificidad (PROL), el origen y el ambiente fueron estadísticamente significativos. Los híbridos con germoplasma tropical presentaron valores más altos en todos los ambientes.

El origen y el ambiente mostraron efectos altamente significativos sobre la variable altura (ALTPL), aunque la interacción entre ambos términos no fue significativa, presentando los híbridos de origen tropical una mayor altura de planta (ALTPL).

Tabla 1. Origen, ambiente de adaptación y referencias de las líneas endocriadas empleadas en la obtención de los híbridos.

Padres	Ambiente de adaptación	Origen	Denominación
LP917	Templado	DK752xB73	P1
LP918	Templado	Ax888	P2
LP562	Templado	(Flint Synthetic x Morgan 370) x Flint Synthetic	P3
LP179	Templado	Synthetic derivation (Suwan) selected for adaptation to the Midwestern United States and subsequently introduced in Argentina.	P4
L4	Tropical	16467-110-4	P7
L7	Tropical	52-2	P8

Tabla 2. Valor de precipitación anual (PPT), temperatura máxima (TMax), temperatura media (TMean), temperatura mínima (TMin), radiación fotosintéticamente activa (PAR), evapotranspiración potencial (ETP), evapotranspiración del cultivo (ETc) en dos localidades (LOC) durante dos años.

LOC	AÑO	PPT (mm)	TMean (°C)	TMin (°C)	TMax (°C)	PAR (Mj m ⁻² d ⁻¹)	ETP (mm d ⁻¹) or (mm year ⁻¹)	ETc
RS	1	556	20,5	13,9	28,1	16,3	1321	486,6
	2	772	18,6	11,9	26,4	15,9	1284	457,6
	Histórica	774	18,3	11,4	24,8	nd	900	
MF	1	790	18,3	10,9	25,6	15,1	1311	512,2
	2	999	16,7	9,9	24,7	15,1	1183	440,9
	Histórica	759	16,2	9,7	23,9	nd	832	

Referencias: sumatoria de precipitaciones anuales (PPT), promedio anual de temperatura medias (TMean), promedio anual de temperatura mínima (TMin), promedio anual de temperatura máxima (TMax), promedio anual de radiación solar (RAD), suma de evapotranspiración potencial anual (ETP), suma de evapotranspiración del cultivo (ETc), calculada de acuerdo a Priestly and Taylor, ETc fue calculada para el periodo del ciclo del cultivo. LOC: Manfredi (MF) y Villa María de Río Seco (RS)

Tabla 3: Agua útil (AU) en el perfil del suelo hasta los 2 m de profundidad obtenida en dos localidades durante dos años. Valor de referencia histórica de acuerdo a la carta de suelo de cada localidad

AU (mm)	MF				RS			
	Año 1		Año 2		Año 1		Año 2	
	siembra	Madurez fisiológica						
2 m	303	292	271	318	233,5	239,5	68	340,5
Valor histórico *	306				270			

*de acuerdo a la carta de suelo; Manfredi (MF) y Villa María de Río Seco (RS)

Tabla 4. Valores medios de rendimiento en grano (RENDHA), número de granos (NGR), peso de grano (PGR), prolificidad (PROL) y altura de planta (ALTPL) evaluados en 15 híbridos de maíz en dos localidades (Manfredi y Río Seco) de Córdoba durante dos años.

	RENDHA	NGR	PGR	PROL	ALTPL
TR	6075,84	2030,63	331,13	1,24	226,40
TEMxTR	5934,16	1908,15	329,87	1,11	208,90
TEM	4995,51	1750,40	307,96	1,09	201,85
ORIGEN	**	Ns	Ns	*	**
AMBIENTE	Ns	**	**	**	**
ORIGEN: AMBIENTE	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns

Ns: no significativo al 0.05%, *, ** estadísticamente significativo al nivel 0.05 y 0.01 respectivamente

Los valores en **negrita** son significativamente mayores al resto.

TEM híbrido resultante del cruzamiento TEMxTEM; TEMxTR híbrido resultante del cruzamiento templado-tropical; TR híbrido resultante del cruzamiento de tropical x tropical

DISCUSIÓN

En este estudio, el ambiente, explicado principalmente por la disponibilidad de agua, tuvo una influencia altamente significativa sobre los rasgos NGR, PGR, PROL y ALTPL. El rasgo ALTPL, un estimador indirecto del crecimiento, varió en función del ambiente. Estos resultados concuerdan con estudios anteriores (Mickelson et al., 2001; Doerksen et al., 2003).

El término cruzamiento fue altamente significativa para el rasgo de rendimiento (RENDHA) y sus componentes (NGR y PGR). Esto puede deberse a la diversidad genética de los progenitores. De la Cruz (2010) encontró que a medida que aumenta la diversidad genética de los progenitores, aumentan las diferencias en sus cruces, tanto en lo que respecta a sus rasgos agronómicos como fisiológicos.

Estas investigaciones contribuirán en gran medida a los programas de investigación para la incorporación de germoplasma tropical en fechas de siembra tardía, ya sea por cruzamiento de germoplasma templado y germoplasma tropical o germoplasma tropical y germoplasma tropical

CONCLUSIONES

Los ambientes explorados presentaron temperaturas medias y máximas superiores a las históricas, y precipitaciones inferiores a los valores normales en la localidad de RS. En estas condiciones y en una fecha de siembra tardía, los híbridos resultantes del cruzamiento de líneas con germoplasma tropical y líneas con germoplasma templado obtuvieron rendimientos superiores.

BIBLIOGRAFÍA

- Abadassi J., and Herve Y. 2000. Introgression of temperate germplasm to improve an elite tropical maize population. *Euphytica* 113: 125–133
- Abdel-Moneam M.A., Attia A.N., EL-Emery M.I., Fayed E.A. 2009. Combining Ability and Heterosis for Some Agronomic Traits in Crosses of Maize. *Pakistan journal of biological sciences: PJSB*. 12: 433-438.
- Antuna G. O., Rincón S., Gutiérrez E., Ruiz T., Bustamante G. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas de líneas de maíz. *Revista fitotécnica mexicana* 26: 11-17.
- Betrán F.J., Beck D., Bänzige M., Edmeades G.O. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. *Crop Sci.* 43:807– 817
- Cross, H. Z. 1975. Diallel analysis of duration and rate of grain filling of seven inbred lines of corn. *Crop Sci.* 15: 532-535
- De la Cruz-Lázaro E., Castañón-Najera G., Brito-Manzano N. P., Gómez-Vázquez A., Robledo-Torres V., Lozano-del Río A. J. 2010. Heterosis y aptitud combinatoria de 98 poblaciones de maíz tropical. *Phyton, International Journal of Experimental Botany* 79: 11-17.
- Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., González L., Tablada M., Robledo C. W. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Doerksen T. K., Kannenberg L. W. and Lee E.A. 2003. Effect of Recurrent Selection on Combining Ability in Maize Breeding Populations. *Crop Sci.* 43: 1652-1658
- Fischer R. A., Byerlee D., Edmeades G. O. 2014. Crop yields and global food security: will yield increase continue to feed the world? *ACIAR Monograph No. 158*. Australian Centre for International Agricultural Research: Canberra. XXII 634 pp
- Gayo S., Brihet J. 2018 ¿Y si el maíz tardío no es lo que parece? Tercer Congreso de maíz tardío. MAIZAR. Consulted: <http://www.maizar.org.ar/documentos/sofia%20gayo%20juan%20brihet.pdf>

- Gobierno de la Provincia de Córdoba. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Carta de suelo de la República Argentina, Villa de María, Provincia de Córdoba. On-line 2019-Hoja 2963-32 Villa de María. Consulted: <http://suelos.cba.gov.ar/VILLADEMARIA/index.html>
- Griffing B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Australian Journal of Biological Science* 9: 463-493
- INTA. Secretaría Ministerio de Agronomía, Ganadería y Pesca. (1987). Cartas de suelos de la provincia de Córdoba: hoja Oncativo 3163-32 [Carta]. 1:50.000. Córdoba: INTA
- Machado J.C., Souza J.C.D., Ramalho M.A.P., Lima J.L. 2009. Estabilidad de los efectos de la habilidad combinatoria en híbridos de maíz. *Scientia Agrícola* 66: 494-498
- Madonni G. A. 2012. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina—a probabilistic approach. *Theor. Appl. Climatol.* 107: 325–345
- Mickelson H.R., Cordova H., Pixley K.V., Bjarnason M.S. 2001. Heterotic Relationships among Nine Temperate and Subtropical Maize Populations. *Crop Sci.* 41: 1012-1020
- Ortiz R., Taba S., Tovar V.H.C., Mezzalama M., Xu Y., Yan J., Crouch JH. 2010. Conserving and enhancing maize genetic resources as global public goods—A perspective from CIMMYT. *Crop Sci.* 50: 13-28
- Otegui, M. E., Riglos, M., & Mercau, J. L. 2021. Genetically modified maize hybrids and delayed sowing reduced drought effects across a rainfall gradient in temperate Argentina. *Journal of Experimental Botany*.72(14): 5180–5188. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab139>
- Priestly, C.H. and Taylor, R.H. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly weather review.* 100(2): 81-92
- Rattalino Edreira J. I., Otegui M. E. 2013. Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: A novel approach for assessing sources of kernel loss in field conditions. *Field Crops Research* 142: 58-67
- Valentinuz O., Cabello N., Ainelini D. 2009. Respuesta de híbridos tropicales y templados al manejo agronómico de las últimas décadas. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/respuesta-de-hibridos-tropicales-y-templados-al-manejo-agronomico-de-las-ultimas-decadas/>
- Vasal S. K., Srinivasan G., Crossa J., Beck D. L. 1992. Heterosis and combining ability of CIMMYT's subtropical and temperate early-maturity maize germplasm. *Crop. Sci.* 32: 884-890
- Vasic N. J., Ivanovic M. R., Brkic I. J., Bekavac G. F., Zdunic Z. I., Jambrovic A. S. 2006. Evaluation of maize hybrids containiin different proportion of NC298 tropical germplasm line in their male parents. *Maydica* 51: 79 – 88
- Wain G., Kain M. S., Moreno O. 1999. Genetic analyses of grain-filliin rate and duration in maize. *Field Crops Res* 61: 211-222
- Whitehead F. C., Caton H. G., Hallauer A. R., Vasal S., Cordova H. 2006. Incorporation of elite subtropical and tropical maize germplasm into elite temperate germplasm. *Maydica* 51: 43 – 56