

APTITUD COMBINATORIA DE LÍNEAS ENDOCRIADAS DE MAÍZ CON DISTINTO GRADO DE PROLIFICIDAD Y MACOLLAJE Y SU CONTRIBUCIÓN AL RENDIMIENTO EN GRANO

Lutz, S.A.^{1,2}; Hisse I.R.³; Maddonni G.A.^{1,2}; López C.G.^{4,5,6}; Galizia L.A.⁷; Eyherabide G.H.⁸; Messina C.D.^{3,9}; D'Andrea K.E.^{1,2}

¹Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, C1417DSE Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

²Instituto de Fisiología y Ecología Vinculado a la Agricultura, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (IFEVA-CONICET), Av. San Martín 4453, C1417DSE Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

³Horticultural Sciences Department, University of Florida, Gainesville, FL 32611, USA.

⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290, C1425FQB, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

⁵Universidad Nacional de Lomas De Zamora (UNLZ). Camino de Cintura km. 2, (1832) Lomas de Zamora, Buenos Aires, Argentina.

⁶Instituto de Investigación sobre Producción Agropecuaria Ambiente y Salud (IIPAAS-CIC), C. 526 10, B1906AOA Tolosa, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

⁷Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino (Argentina). Ruta 32 km 4,5, B2700, Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

⁸Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA). Monteagudo 2772, Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

⁹UF/IFAS Crop Transformation Center, University of Florida, Gainesville, FL 32611, USA
slutz@agro.uba.ar; i.hisse@ufl.edu; maddonni@agro.uba.ar; cesarglopez63@yahoo.com.ar;
galizia.luciana@inta.gob.ar; guillermo.eyherabide@gmail.com; cmessina@ufl.edu;
kdandrea@agro.uba.ar.

COMBINING ABILITY OF MAIZE INBREDS WITH DIFFERENT EXPRESSION OF PROLIFICACY AND TILLERING AND THEIR CONTRIBUTION TO GRAIN YIELD

Vegetative–reproductive plasticity in maize, expressed through prolificacy and tillering, may contribute to grain yield in restrictive environments where low plant densities are used. The objective of this study was to estimate the general (ACG) and specific (ACE) combining abilities of six maize inbred lines contrasting for these traits. Diallel experiments were conducted over two growing seasons using six maize inbred lines and their 15 single-cross hybrids under low plant density (3 plants m⁻²). Evaluated traits included: tillers per plant, prolificacy of the main shoot and tillers, ears per tiller and per plant and grain yield per plant and from apical, sub-apical and tillers ears. Both ACG and ACE were significant for evaluated traits, revealing genetic variability. LP598 and L1233 showed the highest ACG effects for tillering-related traits, whereas LP923 exhibited the highest ACG for main shoot prolificacy and, together with LP1212, the highest ACG for grain yield per plant. The best hybrids for tillering were mainly obtained from inbreds with high ACG for this trait, whereas main shoot prolificacy was associated with high ACE. These results provide useful criteria for selecting parental lines and hybrid combinations according to the target trait.

Palabras Clave: maíz; prolificidad; macollaje; experimento dialélico; aptitud combinatoria.

Keywords: maize; prolificacy; tillering; diallel mating design; combining ability.

Introducción

La prolificidad y el macollaje en maíz (*Zea mays* L.) han recibido escasa atención en los programas de mejoramiento genético, históricamente orientados al desarrollo de híbridos adaptados a ambientes con altas densidades de siembra (Duvick 2005). Sin embargo, en ambientes marginales caracterizados por una elevada variabilidad interanual en las condiciones del ambiente (e.g. lluvias), comúnmente se utilizan bajas densidades de siembra (Rotili *et al.* 2019), y los mecanismos de plasticidad vegetativo-reproductiva (prolificidad y macollaje) permiten que las plantas puedan producir un mayor número de espigas cuando los recursos son adecuados (Parco *et al.* 2020, 2022; Rotili *et al.* 2020; Espelet *et al.* 2025). Estudios recientes (Lutz *et al.*, 2026) demostraron que rasgos relacionados a la prolificidad y al macollaje están determinados genéticamente y pueden ser transferidos a la progenie, aunque difieren en el tipo de acción génica predominante. Esto sugiere que las estrategias de mejoramiento más eficientes dependerán de la contribución relativa de los efectos génicos aditivos y no aditivos (Sprague y Tatum, 1942; Falconer y Mackay, 1996). En este contexto, el análisis dialélico constituye una herramienta fundamental para estimar la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), permitiendo cuantificar la importancia relativa de ambos tipos de acción génica e identificar líneas parentales y combinaciones híbridas con mayor potencial para el mejoramiento (Sprague y Tatum, 1942; Griffing, 1956). El objetivo de este trabajo fue estimar la ACG y ACE de seis líneas endocriadas de maíz para rasgos asociados con la plasticidad vegetativo-reproductiva evaluados en baja densidad de siembra para orientar la selección de líneas y combinaciones híbridas según el tipo de rasgo de plasticidad objetivo.

Materiales y Métodos

Se realizaron dos experimentos a campo durante las campañas 2022-23 y 2023-24 utilizando un diseño de cruzamiento dialélico en el sitio experimental de la Cátedra de Cerealicultura de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (34° 35'S, 58° 29'O). El material genético utilizado estuvo compuesto por seis líneas endocriadas (L1233, LP1212, LP179, LP2542, LP598 y LP923) pertenecientes al programa de mejoramiento de INTA Pergamino, previamente caracterizadas por su contraste en prolificidad y macollaje (Lutz *et al.*, 2026), y sus 15 híbridos simples producto de realizar todos los cruzamientos posibles entre las seis líneas endocriadas (sin recíprocos). Los ensayos se sembraron a fines de noviembre con un diseño de bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones y con una densidad de 3 pl m⁻². Cada repetición estuvo conformada por 21 parcelas correspondientes a las 6 líneas endocriadas y los 15 híbridos. Las parcelas se mantuvieron sin limitaciones hídricas ni nutricionales y libres de malezas, plagas y enfermedades a través de controles químicos y mecánicos. La fertilización con urea y fosfato monoamónico se realizó en función del contenido inicial de nutrientes del suelo, con el objetivo de alcanzar un nivel de 400 kg N ha⁻¹ y 20 ppm P ha⁻¹.

Para caracterizar la plasticidad vegetativo-reproductiva, en madurez fisiológica, se midieron sobre nueve (2022-23) y seis (2023-24) plantas por parcela los siguientes rasgos: número de macollos por planta (Mac_{PL}), prolificidad de macollos (Pr_{Mac}) y del vástago principal (Pr_{VP}), número de espigas de macollos (NE_{Mac}) y por planta (NE_{PL}),

rendimiento en grano (RG) de la espiga apical (E_1), sub-apical (E_2) y de los macollos (E_{Mac}) (RG_{E1} , RG_{E2} y RG_{Mac} , respectivamente) y RG por planta (RG_{PL}). Los métodos para evaluar estos rasgos se encuentran descritos en detalle en Lutz *et al.* (2026).

Para cada rasgo se realizó un análisis de la varianza para determinar el efecto del año (A) y del genotipo (G), utilizando la función *lm* en R 4.4.2 (R Core Team, 2024). Se estimaron las medias ajustadas de los híbridos utilizando la función *lmer* del paquete *lme4* y el paquete *emmeans* en R. El G se particionó en el efecto de ACG y ACE (modelo 1; Griffing, 1956), y utilizando el Método 4 del análisis dialélico (sin parentales ni recíprocos). Los mejores predictores lineales insesgados de la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) se estimaron mediante un modelo aleatorio (modelo 2; Griffing, 1956), y utilizando el Método 4 del análisis dialélico mediante la función *mms* del paquete *sommer* en R (R Core Team, 2024).

Resultados

Variabilidad fenotípica en la composición del rendimiento y del número de espigas en los híbridos derivados

La mayoría de los rasgos evidenciaron diferencias significativas entre años ($P < 0,05$), con excepción de Pr_{VP} , Pr_{Mac} y RG_{E2} , así como entre híbridos ($P < 0,001$; datos no mostrados). Entre los híbridos, la composición del RG_{PL} , varió en función de la diferente contribución relativa de cada espiga (E_1 , E_2 y E_{Mac}). Los híbridos de mayor RG_{PL} (LP923 × LP1212, LP1212 × L1233 y LP598 × LP2542) presentaron los valores más altos de RG_{Mac} e intermedios a altos de RG_{E1} , con nula o muy baja contribución de RG_{E2} . Los híbridos con los mayores valores de RG_{E2} (L1233 × LP923 y LP923 × LP179) presentaron RG_{PL} intermedios.

Tabla 1. Medias ajustadas de los rasgos evaluados de 15 híbridos F_1 durante dos años. Los híbridos están ordenados según rendimiento por planta creciente; el valor más alto de cada rasgo se muestra en **negrita**.

Híbrido	Mac	Pr		NE		RG			
	mac pl^{-1}	esp vástago $^{-1}$		esp pl^{-1}		g pl^{-1}			
	PI	VP	Mac	Mac	PI	E1	E2	Mac	PI
LP598 × L1233	3,4	1,2	0,9	3,0	4,2	101	5,09	103	210
LP598 × LP179	2,5	1,0	0,4	1,0	2,0	182	1,48	59,8	244
LP179 × L1233	2,6	1,1	0,5	1,2	2,3	167	4,60	89,9	261
LP2542 × LP179	1,8	1,0	0,4	0,8	1,8	231	1,97	40,8	273
L1233 × LP923	2,7	1,7	0,9	2,2	3,9	121	43,6	116	280
LP179 × LP1212	2,0	1,1	0,4	0,8	1,9	218	8,62	55,6	282
LP1212 × LP2542	2,7	1,0	0,5	1,4	2,4	189	1,29	99,5	290
LP2542 × L1233	2,4	1,1	0,6	1,3	2,4	177	6,61	110	294
LP598 × LP923	2,4	1,0	0,9	2,1	3,1	141	0,00	164	305
LP1212 × LP598	3,3	1,1	0,7	2,3	3,4	150	1,47	165	316
LP923 × LP179	1,6	1,3	0,7	1,1	2,4	187	31,1	98,2	316
LP923 × LP2542	2,5	1,0	0,6	1,4	2,4	203	2,85	115	321
LP598 × LP2542	2,4	1,0	0,7	1,6	2,6	187	0,00	150	337
LP1212 × L1233	3,1	1,2	0,8	2,5	3,7	129	13,4	197	339
LP923 × LP1212	2,4	1,2	0,7	1,7	2,9	203	17,6	159	379

E_1 : espiga apical del vástago principal, E_2 : espiga sub-apical del vástago principal, Mac: macollos, NE: número de espigas, PI: planta, Pr: prolificidad, RG: rendimiento en grano VP: vástago principal.

Por último, los híbridos de menor RG_{PL} (LP598 × L1233, LP598 × LP179 y LP179 × L1233; LP2542 × LP179) se caracterizaron por presentar valores intermedios a bajos de RG_{E1} y RG_{Mac} , excepto LP2542 × LP179 que, pese a tener el mayor valor de RG_{E1} , se ubicó entre los híbridos de menor RG_{PL} , asociado al reducido número de macollos (Mac_{PL}) y bajo aporte de RG_{E2} y RG_{Mac} (Tabla 1).

El número de espigas por planta (NE_{PL}) varió entre 1,8 y 4,2. Los mayores valores estuvieron generalmente asociados a valores altos de Mac_{PL} , Pr_{Mac} y EN_{Mac} (LP598 × L1233) o a Pr_{VP} y Pr_{Mac} (L1233 × LP923; Tabla 1).

Aptitud combinatoria general: patrones contrastantes entre líneas para los rasgos de plasticidad

La aptitud combinatoria general y la específica resultaron significativas para todos los rasgos ($P < 0,05$; datos no mostrados). Entre las líneas con mayor ACG para RG_{PL} , en LP1212 predominó la contribución de los macollos al rendimiento, reflejada en sus altos valores de ACG para RG_{Mac} (25,4 g pl^{-1} , $P < 0,001$), mientras que en LP923, la contribución provino tanto de los macollos ($RG_{Mac} = 19,4$ g pl^{-1} , $P < 0,01$) como de la E_2 ($RG_{E2} = 12,2$ g pl^{-1} , $P < 0,001$), esta última sustentada en valores elevados de ACG para Pr_{VP} (Fig. 1). Entre las líneas con menor ACG para RG_{PL} se distinguieron dos patrones. LP179 presentó una ACG negativa para RG_{Mac} (-57,5 g pl^{-1} , $P < 0,001$), que contrastó con su elevada de ACG para RG_{E1} (30,8 g pl^{-1} , $P < 0,001$). En cambio, L1233 y LP598 se caracterizaron por presentar ACG negativas para RG_{E1} (-41,9 y -25,1 g pl^{-1} , respectivamente, $P < 0,001$), mientras que LP598 también mostró una ACG negativa para RG_{E2} (-9,64 g pl^{-1} , $P < 0,001$). No obstante, en LP598, la elevada ACG para rasgos asociados al macollaje (NE_{Mac} , Mac_{PL} y Pr_{Mac}) y NE_{PL} compensaron parcialmente estas reducciones, resultando en una ACG para RG_{PL} menos negativa (-17,8 g pl^{-1} , $P < 0,01$, Fig. 1).

Entre las líneas con mayor ACG para NE_{PL} , L1233 y LP598 presentaron los valores más altos para Mac_{PL} , NE_{Mac} y Pr_{Mac} , y L1233, además, se destacó por la mayor ACG para Pr_{VP} (0,14 espigas, $P < 0,001$, Fig. 1), posicionándolas como las opciones más favorables para incrementar el número de espigas en los cruzamientos. En el extremo opuesto (i.e., ACG negativa para NE_{PL}), LP179 y LP2542 presentaron los valores más negativos para Mac_{PL} , Pr_{Mac} , NE_{Mac} .

Aptitud combinatoria específica: patrones de interacción entre líneas para los rasgos de plasticidad

Entre las combinaciones con valores positivos de ACE para NE_{PL} , LP2542 × LP179 y LP598 × L1233 exhibieron los mayores efectos (0,42 y 0,40, respectivamente; $P < 0,01$; Fig. 2), sustentados principalmente por los valores más altos de ACE para NE_{Mac} (0,37 y 0,38, respectivamente; $P < 0,01$), aunque solo LP2542 × LP179 mostró adicionalmente un efecto significativo para Pr_{Mac} (0,12, $P < 0,05$). La combinación L1233 × LP923 fue la de mayor Pr_{VP} (0,26, $P < 0,001$) aunque sus valores intermedios para los demás rasgos hicieron que no se destacara en NE_{PL} . En contraste, LP2542 × L1233 presentó el efecto más negativo de ACE para NE_{PL} (-0,50, $P < 0,001$), acompañado por los menores valores de ACE para NE_{Mac} (-0,42, $P < 0,01$) y Mac_{PL} .

(-0,30, $P < 0,01$; Fig. 2), lo que sugiere una interacción negativa entre ambas líneas que afectó conjuntamente la producción de macollos y su fertilidad.

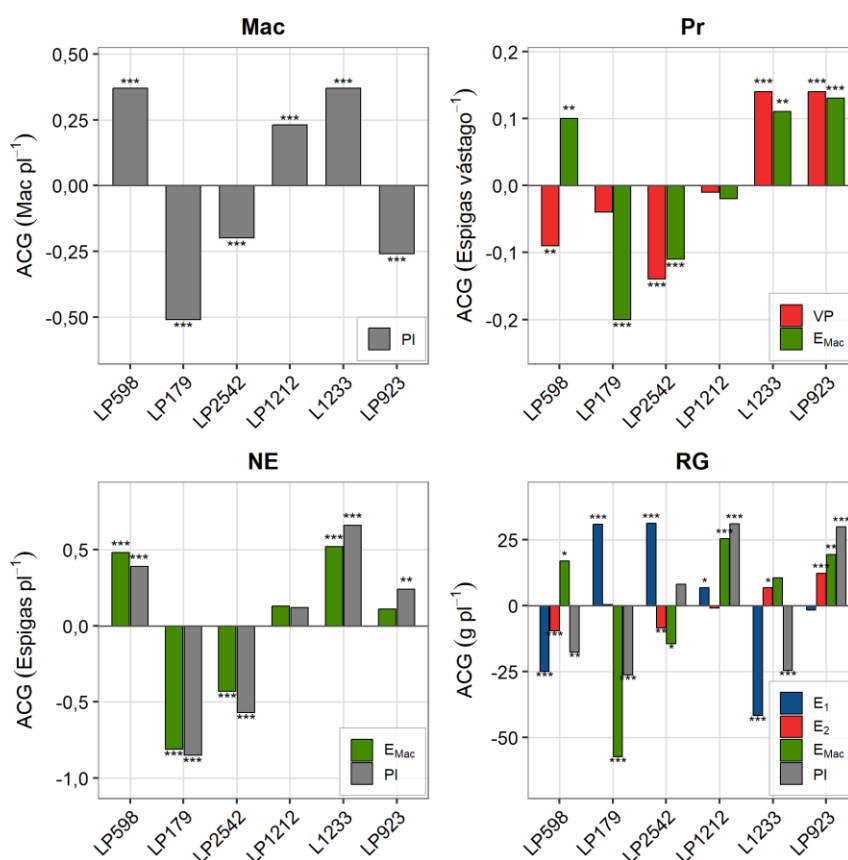


Figura 1. Estimaciones del efecto de la aptitud combinatoria general (ACG) para número de macollos (Mac), prolificidad (Pr), número de espigas (NE) y rendimiento en grano (RG) evaluadas a lo largo de dos años experimentales. *, **, y *** indican significancia a los niveles de probabilidad de 0,05, 0,01 y 0,001, respectivamente. Las líneas endocriadas están ordenadas por rendimiento creciente promedio de los dos años (de izquierda a derecha). E₁: espiga apical del vástago principal, E₂: espiga sub-apical del vástago principal, E_{Mac}: espigas de macollos, PI: planta, VP: vástago principal. La barra roja en Pr corresponde a la prolificidad del vástago principal (E₁ + E₂).

Entre las combinaciones con ACE positiva para RG_{PL}, LP598 × LP2542 y LP1212 × L1233 compartieron un patrón de altos valores de ACE para RG_{Mac} ($P < 0,01$; Fig. 2), indicando que su interacción positiva se expresó predominantemente a través de la contribución de los macollos al rendimiento. En contraste, la combinación LP923 × LP1212 logró ACG positivas para RG_{PL}, pero sustentada por los mayores efectos de ACE para RG_{E1} ($P < 0,001$; Fig. 2), con valores ligeramente negativos para RG_{E2} y RG_{Mac}. Entre las combinaciones negativas para RG_{PL}, LP1212 × LP2542 y LP598 × L1233 presentaron los menores valores de ACE para RG_{Mac} ($P < 0,05$) y LP1212 × LP2542 también valores negativos para RG_{E1} ($P < 0,001$; Fig. 2). L1233 × LP923 constituyó un caso particular dentro de este grupo al exhibir el mayor efecto de ACE para RG_{E2} (15,5 g pl⁻¹, $P < 0,001$), efecto que no logró compensar sus bajos valores de ACE para RG_{Mac}.

Por otra parte, los efectos de ACE para RG_{PL} no estuvieron necesariamente asociados a los de NE_{PL}. Un ejemplo de esto es la combinación LP598 × L1233, que a

pesar de su elevado efecto positivo de ACE para NE_{PL} (0,40 espigas pl^{-1} , $P < 0,01$), presentó uno de los valores más negativos de ACE para RG_{PL} (-44,4 g pl^{-1} , $P < 0,001$; Fig. 2).

Discusión

La variabilidad observada para la aptitud combinatoria general y específica evidencia la existencia de diversidad genética que permite la identificación de progenitores y combinaciones híbridas superiores con potencial para su utilización en programas de mejoramiento orientados a incrementar la plasticidad vegetativo-reproductiva en maíz (Bello *et al.*, 2012).

De los híbridos con mayor NE_{PL} , dos ($LP598 \times L1233$ y $L1233 \times LP923$) tuvieron como progenitor común a L1233, la línea con mayor ACG para este rasgo. Sin embargo, ambos alcanzaron valores similares mediante estrategias diferentes: el primero a través de un mayor Mac_{PL} y NE_{Mac} , favorecido por la elevada ACG de LP598 para estos rasgos; y el segundo mediante una mayor Pr_{VP} aportada por LP923, la línea con mayor ACG para dicho rasgo. Estos resultados indican que diferentes mecanismos de plasticidad vegetativo-reproductiva pueden conducir a un aporte similar en el número total de espigas por planta e identifican a LP598, L1233 y LP923 como líneas parentales promisorias para el mejoramiento de este rasgo.

Los híbridos con mayores valores de Mac_{PL} , Pr_{Mac} y NE_{Mac} incluyeron al menos uno de los progenitores con mayor ACG para el rasgo correspondiente, en concordancia con lo reportado por Al-Naggar y Atta (2017) para diversos rasgos reproductivos. Este patrón es consistente con la predominancia de efectos aditivos y sugiere que la utilización de líneas con elevada ACG constituye una estrategia eficiente para incrementar estos rasgos. En contraste, el híbrido $L1233 \times LP923$, con la mayor Pr_{VP} y RG_{E2} , combinó una elevada ACE para estos rasgos con valores favorables de ACG en ambos progenitores. Esto sugiere que, aunque existe una contribución aditiva, la expresión de estos rasgos depende principalmente de efectos génicos no aditivos, en concordancia con lo informado por Lutz *et al.* (2026), por lo que la identificación de combinaciones parentales específicas resulta determinante para su mejoramiento. En este contexto, $L1233 \times LP923$ constituye una combinación promisoriosa para el desarrollo de híbridos con mayor prolificidad.

A diferencia de los rasgos asociados al NE_{PL} , el RG_{PL} presentó un patrón genético más complejo, evidenciando la participación conjunta de efectos aditivos y no aditivos. El mayor RG_{PL} fue alcanzado por el híbrido $LP923 \times LP1212$, que combinó las dos líneas con mayor ACG para este rasgo, en concordancia con lo observado por Mason y Zuber (1976) en un material genético diferente. Por otra parte, $LP1212 \times L1233$ y $LP598 \times LP2542$ ocuparon el segundo y tercer lugar en RG_{PL} y presentaron los mayores valores de ACE para este rasgo, evidenciando la importancia de los efectos no aditivos en determinadas combinaciones híbridas, tal como señalaron Yu *et al.* (2020). En conjunto, estos resultados sugieren que, en genotipos con plasticidad vegetativo-reproductiva, el rendimiento de grano puede alcanzarse mediante diferentes combinaciones de efectos aditivos y no aditivos. En este contexto, tanto la selección de progenitores con elevada ACG como la identificación de combinaciones parentales con alta ACE constituyen estrategias complementarias para el mejoramiento del rendimiento de grano en genotipos con plasticidad vegetativo-reproductiva.



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

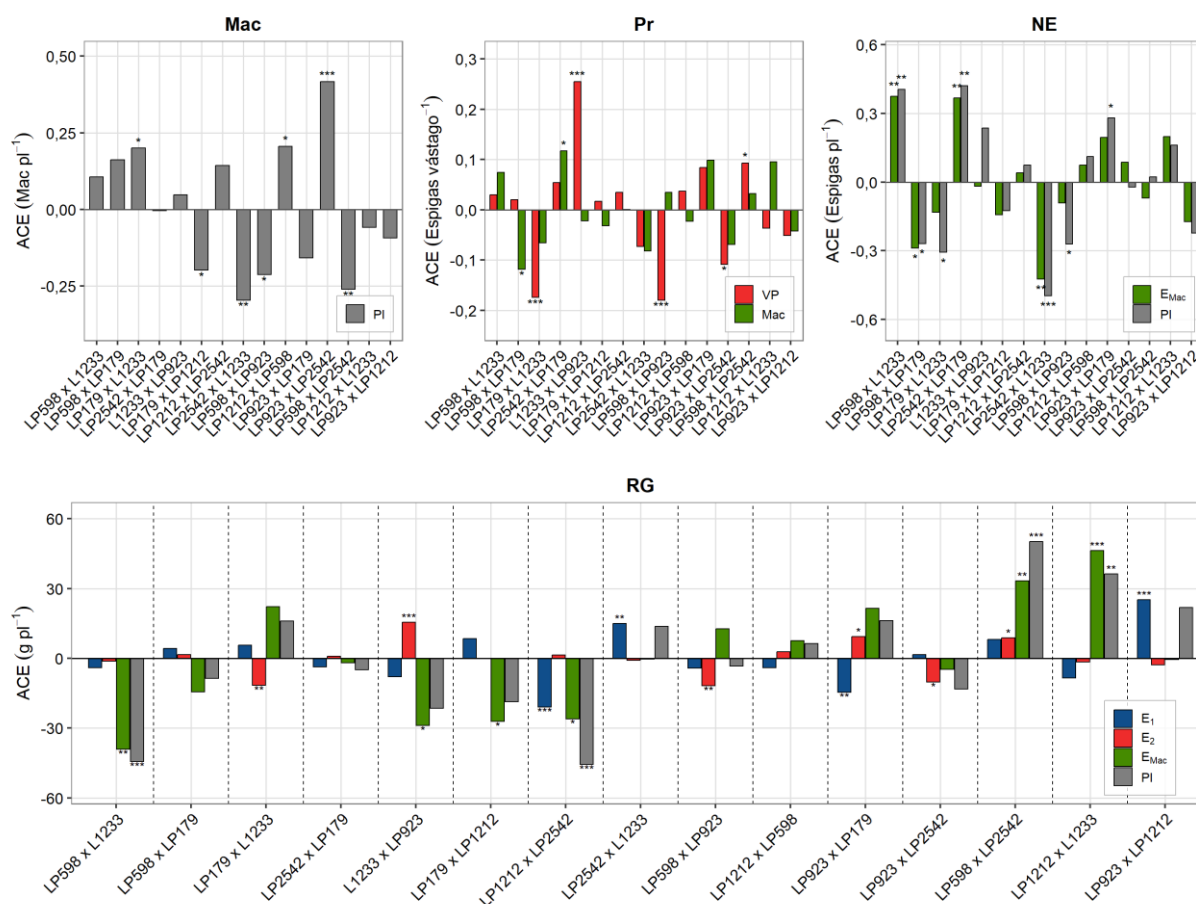


Figura 2. Estimaciones del efecto de la aptitud combinatoria específica (ACE) para número de macollos (Mac), prolificidad (Pr), número de espigas (NE) y rendimiento en grano (RG) evaluadas a lo largo de dos años experimentales. *, **, y *** indican significancia a los niveles de probabilidad de 0,05, 0,01 y 0,001, respectivamente. Los híbridos están ordenados por rendimiento creciente promedio de los dos años (de izquierda a derecha). E₁: espiga apical del vástago principal, E₂: espiga sub-apical del vástago principal, E_{Mac}: espigas de macollos, PI: planta, VP: vástago principal. La barra roja en Pr corresponde a la prolificidad del vástago principal (E₁ + E₂).

Conclusiones

Los mejores híbridos para los rasgos asociados al macollaje se obtuvieron a partir de líneas con alta aptitud combinatoria general (LP598 y L1233), lo que indica un predominio de los efectos aditivos y su potencial para programas de selección. En contraste, la prolificidad del vástago principal dependió principalmente de efectos no aditivos, destacándose la combinación L1233 × LP923 por su elevada aptitud combinatoria específica. En conjunto, los resultados muestran que la importancia relativa de los efectos aditivos y no aditivos depende del rasgo evaluado, por lo que la selección de progenitores y de combinaciones híbridas debe ajustarse al mecanismo genético predominante para maximizar el progreso genético.

Apoyo financiero: Este trabajo fue financiado por la Universidad de Buenos Aires (UBACyT 20020220200102BA) y forma parte del doctorado de Silvia Analía Lutz, realizado con una beca CONICET.

Referencias:

- Al-Naggar, A.M.M.; Atta, M.M.M. (2017). Elevated plant density effects on performance and genetic parameters controlling maize (*Zea mays* L.) agronomic traits. J. Adv. Biol. Biotechnol. 12: 1-20.
- Bello, O.; Ige, S.; Azeez, M.; Afolabi, M.; Abdulmalik, S.; Mahmood, J. (2012). Heritability and genetic advance for grain yield and its component characters in maize (*Zea mays* L.). Int. J. Plant Res. 2: 138-145
- Duvick, D.N. (2005). The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). Adv. Agron., 86:83–145.3.
- Espelet, F.; Rotili, D.H.; D'Andrea, K.E.; Maddonni, G.A. (2025). Critical periods for the expression of vegetative and reproductive plasticity in maize crops. Field Crops Res., 327, 109907.
- Falconer, D.S.; Mackay, T.F.C. (1996). Introduction to quantitative genetics. (4th ed., 469 p.) Pearson Education Limited. Prentice Hall, Essex, England.
- Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Australian J. Biol. Sci., 9:463–93.
- Lutz, S.A.; Maddonni, G.A.; López, C.G.; D'Andrea, K.E. (2026). Plasticity in maize: variability of reproductive traits in inbreds and derived hybrids with different tillering and prolificacy expression. Field Crops Res., 342, 110451.
- Mason, L.; Zuber, M. S. (1976). Diallel analysis of maize for leaf angle, leaf area, yield, and yield components 1. Crop Sci., 16(5): 693-696.
- Parco, M.; Ciampitti, I.A.; D'Andrea, K.E.; Maddonni, G.A. (2020). Prolificacy and nitrogen internal efficiency in maize crops. Field Crops Res., 256: 107912.
- Parco, M.; D'Andrea, K.E.; Maddonni, G.A. (2022). Maize prolificacy under contrasting plant densities and N supplies: I. Plant growth, biomass allocation and development of apical and sub-apical ears from floral induction to silking. Field Crops Res., 284: 108553.
- R Core Team. (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rotili, D.H.; Giorno, A.; Maddonni, G.A. (2019). Expansion of maize production in a semi-arid region of Argentina: climatic and edaphic constraints and their implications on crop management. Agric. Water Manag., 225, 105761.
- Rotili, D.H.; de Voil, P.; Eyre, J.; Serafin, L.; Aisthorpe, D.; Maddonni, G.A.; Rodríguez, D., (2020). Untangling genotype x management interactions in multi-environment on-farm experimentation. Field Crops Res., 255, 107900.
- Sprague, G.F.; Tatum, L.A. (1942). General vs. specific combining ability in single crosses of corn. J. Am. Soc. Agron., 34: 923-932.
- Yu, K.; Wang, H.; Liu, X.; Xu, C.; Li, Z.; Xu, X.; Liu, J.; Wang, Z.; Xu, Y. (2020). Large-scale analysis of combining ability and heterosis for development of hybrid maize breeding strategies using diverse germplasm resources. Front. Plant Sci. 11: 660-675.