



# MAÍZIFICANDO CONCIENCIA

XII CONGRESO NACIONAL DE MAÍZ

Eje

## Genética y mejoramiento

8, 9 y 10 de Noviembre  
Pergamino, BA  
UNNOBA



Secretaría de Agricultura,  
Ganadería y Pesca  
Ministerio de Economía  
Argentina

20  
22





# Análisis de los Efectos del Mejoramiento Genético Sobre el Rendimiento y Estabilidad en Híbridos de Maíz Desarrollados entre 1993 y 2021.

**Uribelarrea, M.; Izzo, F.; Roig, J.; Melani, M.; Van Becelaere, G.**

Conosur Hybrid Breeding – Bayer Crop Sciences

## **ANALYSIS OF THE EFFECT OF BREEDING ON YIELD AND STABILITY OF MAIZE HYBRIDS DEVELOPED FROM 1993 TO 2021**

### Abstract

Hybrid grain yield increase is the main driver and metric of success of a Maize Breeding Program. Besides grain yield, its stability is also a characteristic which is highly regarded by farmers. The objective of this study was to assess the effect of almost 30 years of breeding on both yield and stability of commercial hybrids. 19 hybrids were evaluated in yield trials over three seasons. Results show that grain yield differed greatly between seasons, and while seasons 2016/17 and 2018/19 exhibited similar yields c.a. 138qq/ha, yields in 2021/22 were much lower (118.5qq/ha). The estimated average genetic gain across this almost 30-year period was estimated at 117.5 kg/ha/year with an  $R^2$  of 0.94. As for yield stability, results suggest that the effect of the year of release was minor, except for DK74-47, released in 2021, that showed to have a much larger stability parameter. Overall, these findings, while validating previously reported values of genetic gain, showed a marginal effect of breeding on yield stability and grain moisture, while significantly improving stalk lodging.

### **Palabras claves**

Maíz, mejoramiento, ganancia genética, rendimiento, estabilidad

### **Keywords**

Corn, breeding, genetic gain, grain yield, yield stability



## Introducción

A partir de la consolidación de híbridos de maíz simples a principios de los '90 en el mercado argentino, el rendimiento observado a nivel comercial ha ido incrementando a razón de 102 kg/ha/año (MAGYP-Dirección de Estimaciones Agrícolas). Entre los principales factores que contribuyeron al aumento de los rendimientos, pueden mencionarse el mejoramiento genético, los cambios en el manejo del cultivo, y la introducción de la biotecnología. Para estimar la proporción de este aumento explicada por la ganancia genética, es necesario comparar los rendimientos de híbridos desarrollados durante un período de tiempo, manteniendo los factores restantes en valores constantes y considerando los ambientes objetivos del programa de mejoramiento. Van Becelaere et al (2014) y Otegui (2022) resumen un número de trabajos que han reportado valores de ganancia genética, así como la gran amplitud en el rango de valores reportados (entre 105 y 240 kg/ha/año), aunque los mayores valores históricamente están asociados a períodos en los que convivieron con híbridos simples, híbridos dobles y triples donde no se maximiza la heterosis (Uribelarrea et al. 2015).

Si nos centramos en períodos posteriores a la adopción de híbridos simples, los aumentos en rendimiento producto de la ganancia genética, han sido debidos a mejoras en el período post-floración, especialmente una mayor fijación de granos debido a una mayor partición de biomasa a estructuras reproductivas (Luque et al., 2006), o a un mejor mantenimiento de la tasa fotosintética durante el llenado en híbridos modernos (Echarte et al., 2008). Trabajos más recientes también sugieren que los mayores rendimientos de híbridos modernos están asociados a mayores eficiencias en el uso de agua y radiación (Curin et al., 2020) así como una menor carga respiratoria por unidad de área foliar y menor aborto de flores (Cagnola et al., 2021). Si bien los factores mencionados están asociados a aumentos de rendimiento, también explican potenciales mejoras en la estabilidad de rinde, aunque esta última característica, no ha sido estimada con anterioridad, en híbridos desarrollados por el programa de mejoramiento de Bayer Argentina. El objetivo de este trabajo fue estimar los efectos del mejoramiento genético sobre el rendimiento y la estabilidad de híbridos de maíz desarrollados entre 1993 y 2021.

## Materiales y métodos

Diecinueve híbridos simples de maíz desarrollados por el Programa de Mejoramiento de Bayer entre 1993 y 2021 (Tabla 1) fueron evaluados en ensayos comparativos de rendimiento sembrados en las campañas 2016/2017; 2018/2019 y 2021/2022 en 20 ambientes de la región templada de Argentina. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos aleatorizados con 2 repeticiones por ambiente. Los híbridos se sembraron en parcelas de 4 surcos y 4 m de largo distanciados a 0,52m (8,3m<sup>2</sup>). Las fechas de siembra se extendieron, representando las ventanas temprana y tardía, desde principios de octubre a mediados de diciembre. Para cada ambiente, la densidad de siembra utilizada fue aquella recomendada por la herramienta Cultivio® en base al rendimiento esperado, tomando DK72-10 y DK72-70 como híbridos patrón y todas las parcelas se fertilizaron con 260kg Urea/ha. Independientemente de la versión en que los híbridos hubieran sido comercializados, para este ensayo todos los híbridos fueron incluidos en la versión VT3P; de esta manera, se pudo medir el efecto de la genética sin confundirlo con el de la plataforma biotecnológica. Las mediciones realizadas fueron rendimiento en grano, humedad a cosecha, y variables agronómicas como porcentajes de plantas volcadas y/o quebradas.



Los datos fueron analizados utilizando un modelo lineal mixto, ajustado mediante el uso del paquete “lme4” (Bates et al., 2015) del software R 3.5.0 (R Core Team, 2019). Se utilizó el mejor predictor lineal insesgado (BLUP, por sus siglas en inglés) como estimador del rendimiento de cada híbrido. La ganancia genética fue estimada como la pendiente de la regresión entre el rendimiento estimado y el año de lanzamiento de los híbridos incluidos en el estudio. Para el cálculo del estimador del parámetro de estabilidad de cada híbrido, se utilizó el método desarrollado por Eberhart y Russell (1966), tomándose como principal estimador la pendiente de la regresión entre el rendimiento y el índice ambiental.

## Resultados y discusión

La realización del ensayo a través de tres campañas diferentes permitió explorar un mayor número de ambientes y niveles productivos ya que el rendimiento de grano promedio a través de las 20 localidades difirió de manera significativa a través de las campañas (Tabla 2) siendo de alrededor 138 qq/ha en las campañas 2016/17 y 2018/19 y 118,5 en 2021/22. El rendimiento de los híbridos evolucionó favorablemente respecto al año de lanzamiento (Figura 1) y la ganancia genética anual estimada fue de 117,5 kg/ha y con un alto coeficiente de regresión ( $R^2=0.94$ ). El alto valor de  $R^2$  sugiere que al año de lanzamiento del germoplasma fue un factor que explicó en gran medida los aumentos en rendimiento y estos datos coinciden con trabajos previos resumidos en Van Becelaere et al., (2014). La estimación del parámetro de estabilidad entendido como la variación en rendimiento de un híbrido entre ambientes, relativa a la variación de los índices ambientales también estuvo asociada al año de lanzamiento, aunque en menor medida ( $R^2=0.46$ ). Esto puede estar asociado, entre otros factores, a que los primeros híbridos simples desarrollados por el programa de mejoramiento de Bayer ya mostraban valores elevados de estabilidad. Como marco de referencia, se debería comparar estos valores con híbridos comerciales procedentes de otros programas de mejoramiento para obtener puntos de comparación. El híbrido DK74-47, lanzado en 2021, mostró ser una excepción a esta estimación de estabilidad, mostrando valores de estabilidad más altos, lo que corrobora observaciones a campo obtenidas durante las últimas dos campañas en distintas redes de ensayos de la compañía.

La humedad a cosecha de los híbridos a través los años y ambientes se vio levemente aumentada de alrededor de 18% en los lanzamientos de mediados de los '90 a 20% en los últimos lanzamientos (Tabla 3). Si bien el ajuste de la regresión fue bajo ( $R^2=0.32$ ), sugiere que los aumentos de rendimiento estuvieron acompañados de un alargamiento marginal del ciclo de los híbridos. En cuanto a las características agronómicas más importantes, vuelco de raíz y quebrado de tallo, se observaron dos situaciones bien distintas (Tabla 3). Mientras que no hubo correlación observada entre el año de lanzamiento y el porcentaje de plantas volcadas, se observó una mejoría muy significativa ( $R^2=0.69$ ) en el porcentaje de quebrado medido en los híbridos a lo largo de los años. Esta segunda observación, se ve parcialmente explicada por el hecho de que, con el aumento de la proporción del área sembrada en diciembre, esta característica ha sido objeto de foco creciente en el programa de mejoramiento.



## Conclusiones

Los resultados de este trabajo indican que la ganancia genética producto del mejoramiento explicó gran parte de los aumentos de rendimiento observados en híbridos comerciales desarrollados en los últimos 30 años. Asimismo, dicha ganancia estuvo marginalmente acompañada por aumentos en la estabilidad y el ciclo de los híbridos, y en gran medida por una mejoría en características agronómicas como la susceptibilidad al quebrado de tallo.

Registro INASE del híbrido/versión								
Híbrido	Lanzamiento Germoplasma	Conv.	MG	RR2	MGRR2	VT3P	PRO4	TRE
DK664	1993	1993	1999					
DK752	1993	1993	1999					
DK682	2000	2000	2000	2004				
DK190	2002	2003	2002	2005	2007	2010		
DK747	2004	2004	2005	2008	2007	2010		
DK670	2005		2005	2010	2009	2011		
LT626	2009		2010	2013	2011	2011		
DK72-10	2011			2013	2012	2012	2018	
DK73-10	2012			2015		2013	2018	
LT722	2014			2017		2015		
DK73-20	2015					2016	2020	
LT721	2016			2020		2016	2021	
DK72-20	2016			2021		2017	2019	
DK72-70	2017					2018		2021
DK72-27	2017					2018		2021
LT720	2018			2022		2018		
DK72-72	2019					2019		2022
DK73-03	2020					2021		2022
DK74-47	2021					2021		

Tabla 1. Híbridos incluidos en el análisis durante tres campañas.

Campaña	2016/2017	2018/2019	2021/2022
Rendimiento (qq/ha)	138.4	140.8	117.4

Tabla 2. Rendimiento promedio del set de híbridos en cada una de las tres campañas.



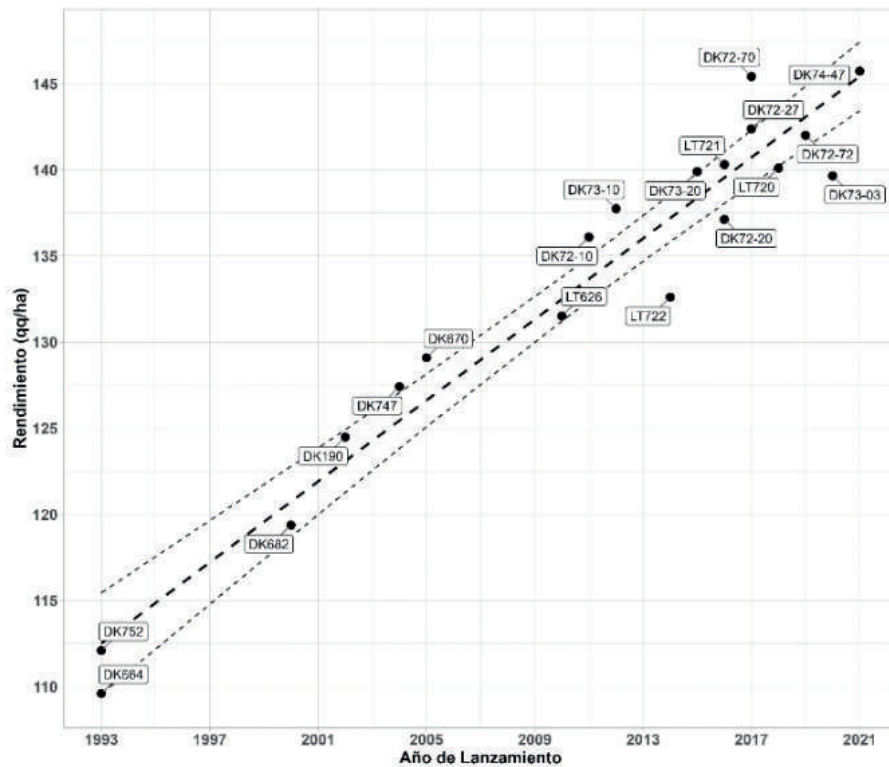


Figura 1. Evolución del rendimiento en grano de acuerdo con el año del lanzamiento del germoplasma para los 19 híbridos incluidos en el ensayo a través de 3 campañas de cultivo. La línea en guiones representa la regresión y las líneas punteadas representan el intervalo de confianza del valor estimado al 95%.

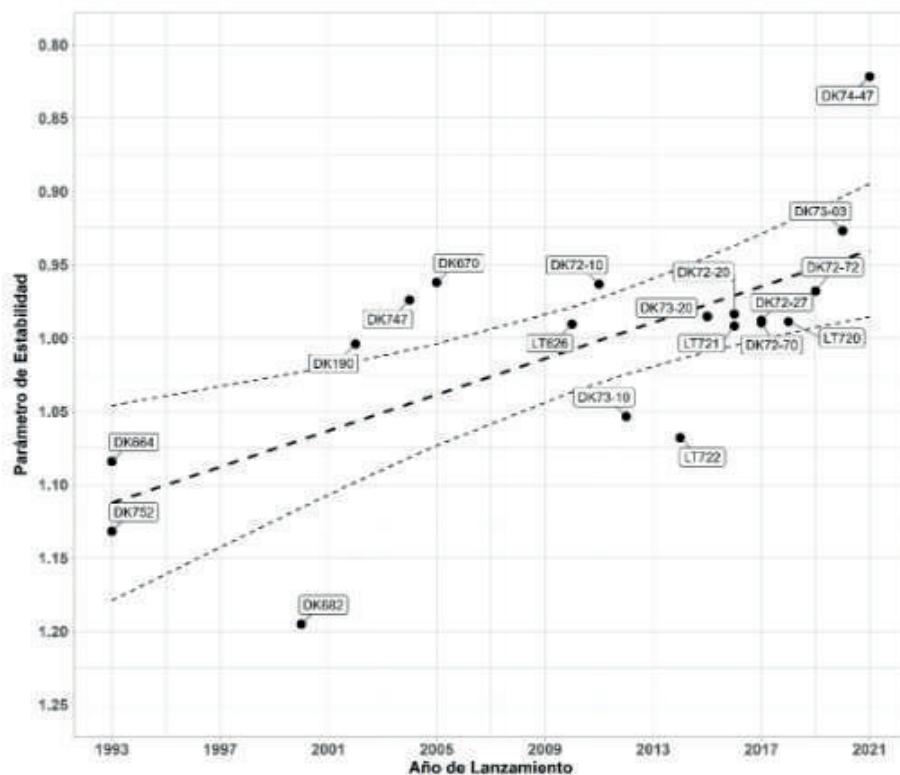


Figura 2. Evolución del parámetro de estabilidad del rendimiento de acuerdo con el año del lanzamiento del germoplasma para los 19 híbridos incluidos en el ensayo a través de 3 campañas de cultivo. La línea en guiones representa la regresión y las líneas punteadas representan el intervalo de confianza del valor estimado al 95%.



<b>Hibrido</b>	<b>Lanzamiento Germoplasma</b>	<b>Humedad a cosecha (%)</b>	<b>Vuelco de raíz (%)</b>	<b>Quebrado de tallo (%)</b>
DK664	1993	17.3	6.0	2.4
DK752	1993	19.0	2.1	2.5
DK682	2000	17.5	7.4	1.6
DK190	2002	18.0	9.0	1.4
DK747	2004	19.3	6.7	1.4
DK670	2005	17.3	3.6	2.1
LT626	2009	20.4	9.5	1.5
DK72-10	2011	18.7	8.7	0.5
DK73-10	2012	19.3	7.7	0.7
LT722	2014	18.7	3.4	1.1
DK73-20	2015	18.8	2.6	0.7
LT721	2016	18.8	5.5	0.9
DK72-20	2016	18.4	3.6	1.1
DK72-70	2017	19.4	5.6	0.8
DK72-27	2017	19.0	1.7	0.8
LT720	2018	19.0	4.5	1.1
DK72-72	2019	19.4	7.9	0.2
DK73-03	2020	19.7	8.0	1.3
DK74-47	2021	21.8	8.2	0.3
	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.32</b>	<b>0.01</b>	<b>0.69</b>

Tabla 3. Evolución de la humedad a cosecha y porcentajes de plantas quebradas y volcadas de acuerdo con el año del lanzamiento del germoplasma para los 19 híbridos incluidos en el ensayo a través de 3 campañas de cultivo. Valor de R<sup>2</sup> representa el ajuste de la regresión para cada característica



## Referencias bibliográficas

- Bates D; et al. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *J Stat Softw.* 67(1), 1–48.
- Cagnola, JI; et al. 2021. Artificial selection for grain yield has increased net CO<sub>2</sub> exchange of the ear leaf in maize crops. *J Exp. Bot.* 72:3902-3913.
- Curin, F; et al. 2020. Water and radiation use efficiencies in maize: Breeding effects on single cross Argentine hybrids released between 1980 and 2012. *FCR.* 246:107683.
- Eberhart, ST, Russell, WA. 1966. Stability parameters for comparing varieties 1. *CropSci* 6(1), 36-40.
- Echarte, L; et al. 2008. The Response of leaf photosynthesis and Dry matter accumulation to nitrogen supply in an older and newer Maize Hybrid. *CropSci.* 48:656-665.
- Luque, SF; et al. 2006. Genetic gains in grain yield and related physiological attributes in Argentine maize hybrids. *FCR.* 65:383-397.
- Otegui, ME. 2022. La mejora del rendimiento de maíz en la región Central de Argentina: análisis ecofisiológico sobre los aportes de la genética y el manejo. *Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria.* LVII:71-84.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Uribe Larrea et al. 2015. The Evolution of Grain Yield in Maize Hybrids and its association with the heterotic pattern. *IPMB Congress.*
- Van Becelaere et al. 2014. Incremento del potencial de rendimiento de los híbridos de maíz en Argentina durante 1993-2012. *X Congreso Nacional de Maíz.*