



## Rendimiento y estabilidad de híbridos de maíz. Análisis de la interacción híbrido por ambiente de la Red de maíz de primera de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Oliveros y sus Agencias de Extensión Rural (AER). Campaña 2021-22.

Magnano, L.<sup>1</sup>; Malmantile, A.<sup>2</sup>; Widmer, T.<sup>2</sup>; Vita, E.<sup>3</sup>; Palú, E.<sup>3</sup>; Prieto, G.<sup>4</sup>; Lotto, A.<sup>4</sup>; Ibarlucea, J.<sup>5</sup>; Capurro, J.<sup>6</sup>; Casasola, E.<sup>7</sup>; Pagani, R.<sup>8</sup>; Boero L.<sup>9</sup>; Calcha, J.<sup>9</sup> y Ferraguti, F.<sup>1</sup>.  
1 INTA EEA Oliveros; 2 INTA AER Venado Tuerto; 3 INTA AER Pago de los Arroyos; 4 INTA AER Arroyo Seco; 5 INTA AER Roldán; 6 INTA AER Cañada de Gómez; 7 INTA AER Casilda; 8 INTA AER Las Rosas; 9 INTA AER Gálvez.



Palabras clave: maíz, híbridos, IGA, estabilidad, GGE, plot.

### Introducción

El maíz es el cereal de mayor volumen producido a nivel global, con 1181 millones de toneladas cosechadas actualmente (USDA-WASDE, 2022). En Argentina, en la última década, la superficie sembrada de maíz aumentó de 5 a 9,7 millones de ha,

mientras que la producción de granos pasó de 21,5 a 60,5 millones de toneladas. (Presello *et al.*, 2022). El aumento en el rendimiento promedio se debe tanto a las prácticas de manejo adoptadas como al mejoramiento genético del cultivo.

En las últimas décadas, el mejoramiento genético en Argentina ha permitido elevar sostenidamente el rendimiento promedio de los híbridos comerciales, principalmente a través de un aumento en la biomasa total y del número de granos fijados, sin modificacio-



El **híbrido 1** casi no muestra acartuchamiento de las hojas, mientras que en el **híbrido 3** el acartuchamiento es completo. El **híbrido 2** muestra un grado intermedio de acartuchamiento. Las 3 estrategias pueden ser una ventaja o desventaja dependiendo de cómo evoluciona el ambiente que deberán explorar.



Foto 1. Interacción Genotipo (híbrido) por Ambiente evidenciada en diferentes estrategias ante un estrés hídrico de 3 híbridos evaluados en un ensayo comparativo de rendimiento.



**T1** Tabla 1. Rendimiento de los híbridos en la Red de maíz de primera de INTA EEA Oliveros y sus AERs. Campaña 2021-22.

Híbridos	Empresa	Pavon Arriba	Galvez	Peyrano	Oliveros	Casilda	Cda de Gómez	Bouquet	Caracarañá	Runciman	Rufino	San Eduardo	Media Gral	Índice rel.
BASF 7349 VT3P	BASF	4147	5851	7238	7191	8199	9393	11304	9507	12964	15188	15133	9647	1,071
IS 799 VT3P	Illinois	4748	5513	6376	7183	8322	9496	11876	8909	13149	13611	16263	9586	1,064
ACA 476 VT3P	ACA	4326	6126	7130	7175	8626	8897	11685	9845	12494	14274	14826	9582	1,064
DK 7208 VT3P	Dekalb	4003	5874	6457	6634	9324	9106	11065	9787	12616	14368	15884	9556	1,061
DM 2773 VT3P	Don Mario	4569	5714	6711	7667	8741	9366	11828	9545	12623	13045	15111	9538	1,059
SPS 2743 VIP3	SPS	3774	5591	7037	6967	9005	8443	12401	9766	12544	13516	15605	9513	1,056
DK 7272 VT3P	Dekalb	4183	5434	6503	7408	8180	8921	10922	9641	13309	14672	15404	9507	1,055
NK 890 VIP3	NK	3199	4939	6971	7050	8543	8991	11399	9702	13111	14113	16132	9468	1,051
LT 721 VTPRO4	La Tijereta	4605	5936	6695	6784	9074	9096	11018	8927	12646	13152	15679	9419	1,045
NS 7921 VIP3 CL	Nidera	3127	4591	7105	6953	8268	8297	11924	9270	13283	14604	15298	9338	1,036
ST 9910-20	Stine	3816	5449	7280	7026	8676	8887	11590	9771	12063	13056	14665	9298	1,032
DK 7303 VT3P	Dekalb	4306	5395	6597	7054	8443	8836	11828	8479	12674	13186	15263	9278	1,030
Acruv PWU	Nord	4196	5227	5691	5936	8391	11329	11208	8852	12426	13121	15617	9272	1,029
SYN 979 VIP3	NK	3320	5319	6448	7011	8168	7714	12353	9148	12894	13542	15580	9227	1,024
LT 723 VTPRO4	La Tijereta	4190	4377	6889	7125	8875	8831	10684	9791	12865	12820	14703	9195	1,021
SRM 6620 VT3P	Limagrain	4027	4925	7139	6734	8854	8701	11542	9867	12337	11505	15467	9191	1,020
DK 7270 VT3P	Dekalb	3730	5859	6329	6910	8394	8746	10588	8453	12531	14967	14490	9182	1,019
DK 7220 VTPRO4	Dekalb	4737	5289	6151	6857	9988	8986	10350	8613	12072	13176	15686	9173	1,018
LT 720 VT3P	La Tijereta	4041	4984	6252	6881	9173	8668	12067	9413	12134	12330	15101	9171	1,018
NS 7621 VIP3	Nidera	3635	4756	6530	6583	8380	8372	11638	8620	13381	14362	14615	9170	1,018
AX 7761 VT3P	Nidera	3226	5323	6250	6690	8561	8261	10731	9662	12997	13756	14989	9131	1,013
AG 9926 VIP3	Ageseed	3177	5451	5533	6062	7918	7523	11924	9600	12621	13617	16470	9081	1,008
DM 2712 VT3P	Don Mario	3820	4845	6367	6442	8314	8348	10731	9100	12914	13045	15079	9001	0,999
ACA 473 VT3P	ACA	3816	5730	6388	6636	8308	7876	9968	9402	12753	12501	15351	8975	0,996
IS 782 VIP3	Illinois	3348	4375	6120	5629	8088	9057	11304	9185	13127	13212	15252	8972	0,996
BASF 7344 VT3P	BASF	3896	5240	5824	6551	8540	8892	10779	8470	12671	13853	13948	8969	0,995
BRV 8380 PWU	Brevant	3738	5247	5897	6213	8811	8265	10255	9498	12720	12581	15354	8962	0,995
ADV 8122 VT3P	Advanta	4266	5265	7214	7205	8395	7518	10779	9089	12790	11965	13947	8949	0,993
QS 72-01	Qseeds	4165	3999	6173	5989	8570	8349	10588	9156	12492	13812	14771	8915	0,989
P 1815 VYHR	Pioneer	3708	5692	5840	6311	8653	8631	9968	10262	12145	12564	14140	8901	0,988
SYN 897 VIP3	NK	2405	5015	5650	6338	8269	7863	11161	9468	12728	13889	14948	8885	0,986
ACA 482 VT3P	ACA	3937	5021	6409	6080	7091	8991	9873	9252	12833	11969	15148	8782	0,975
TOB 767 VIP3	Tobin	2937	4626	6580	5574	8366	9012	11590	9427	12083	12090	14170	8769	0,973
Next 22.6 PWU	Brevant	3058	4444	6009	6081	8481	8386	10875	9271	12969	11137	15718	8766	0,973
P 2167 VYHR	Pioneer	3535	4733	5518	5153	7937	8893	10541	9024	13262	12374	15277	8750	0,971
ACA 481 VT3P	ACA	4346	4558	7229	6341	7968	7783	10159	9206	11404	12893	14173	8733	0,969
KM 3916 VIP3	KWS	2657	4946	6757	6382	7765	7734	10159	8548	12627	13043	15027	8695	0,965
NXM 7123 PW	Nexsem	3507	4319	5653	5962	8449	8572	10255	8694	12328	12895	14942	8689	0,964
ACA 484 VT3P	ACA	4227	3793	7043	6026	8193	6841	10827	8811	12390	13308	13613	8643	0,959
NXM 1122 PWU	Nexsem	3149	3803	5038	6152	8460	8757	9396	8802	12561	12400	14674	8472	0,940
DUO 225 PWU	DUO	3891	4605	4748	6010	8291	8861	11161	9074	12391	10912	12449	8399	0,932
Borax PWU	Nord	3128	4033	5667	6127	8449	7609	11161	8814	12335	11008	12460	8254	0,916
DUO 30 PWU	DUO	3496	3623	5486	5679	7947	9519	10731	8551	11317	10934	13457	8249	0,916
KM 4216 VIP3	KWS	2473	3870	5406	5010	8176	8786	10541	8390	11129	10607	15542	8175	0,907
KM 3927 VIP3	KWS	2226	4002	4768	5570	7838	8016	9778	8377	12617	11104	13972	8024	0,891
Promedio sitio		3707	4971	6291	6474	8407	8609	10989	9179	12585	12979	14920		
Coef. Variación (%)		13,3	12,7	8,0	11,0	5,8	3,6	4,9	6,7	4,1	4,5	3,4		
Dif. mínima significativa (kg/ha)		993	1032	1012	1169	986	625	1082	1242	1050	1167	1031		

nes sustanciales en el peso promedio de los granos. (Di Matteo *et al.*, 2016; Curin *et al.*, 2020).

La renovación constante del catálogo de híbridos de los semilleros hace que los asesores y productores demanden información sobre su comportamiento agronómico y la comparación con híbridos que actualmente están sembrando. Con este fin, desde hace más de 30 años, la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Oliveros en conjunto con sus Agencias de Extensión Rural, llevan a cabo una Red de evaluación de híbridos de maíz, donde un set de genotipos es evaluado en los diferentes ambientes productivos del centro sur de la provincia de Santa Fe.

Además del valor local del comportamiento del set de híbridos en cada sitio de evaluación, las redes de ensayo permiten conocer la adaptabilidad de los mismos a través del análisis de la interacción ge-

notipo (híbrido) por ambiente (combinación de lote, campaña y manejo) (IGA). La IGA refleja las diferencias entre híbridos en cuanto a la tolerancia a estrés (Foto 1) o, por contrario, la capacidad de aprovechar recursos y la eficiencia con la que estos son convertidos posteriormente en grano.

En la campaña 2021-22, la red de maíz de primera nucleó 11 sitios de evaluación: 10 de ellos en macroparcelas en campo de productor con el manejo zonal, más un ensayo de microparcels en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Oliveros. Los sitios evaluados, denominados como ambientes, si bien son representativos, no deben confundirse con la localidad donde se implantaron. Son el resultado de la combinación de la historia del lote, las prácticas de manejo decididas y las condiciones agroclimáticas exploradas por el cultivo según su fecha de siembra. El set de genotipos evaluados consistió de 45 híbridos pertenecientes a 21 semilleros (Tabla 1).



### Resultados Campaña 2021-22

Al analizar los componentes de variancia de la Red de maíz de primera 2021-22, se observó que sólo el 1.03% de la variabilidad total fue explicada por el híbrido y que la interacción híbrido por ambiente explicó 1,45%. La mayor parte de la variabilidad de los datos estuvo explicada por el ambiente (95%) (Figura 1).

#### ■ Análisis de la IGA

A continuación, se abordará el estudio del rendimiento y la adaptabilidad de los híbridos participantes mediante 2 metodologías de análisis de la IGA: la propuesta por Shukla, 1972, adaptada por Masiero & Castellano, 1991, y la metodología conocida como GGE plot propuesta por Yan *et al.*, 2000.

#### ■ Análisis Shukla

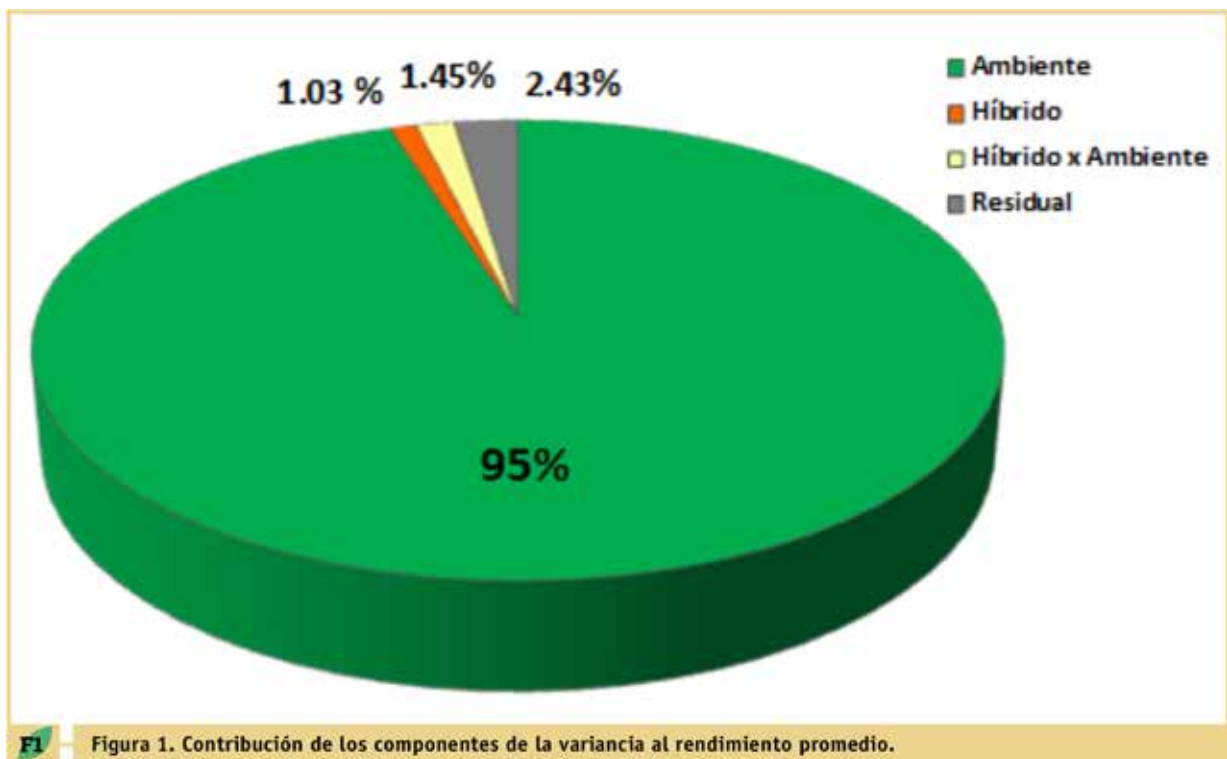
En las Figuras 2 y 3 se presenta el análisis de estabilidad de Shukla para híbridos y para ambientes respectivamente. En el primer caso, se analiza cómo se comportaron los híbridos a través de todos los ambientes en cuanto a estabilidad y rendimiento.

Caracterizar a un híbrido como estable significa que la IGA es más baja relativamente al resto del set

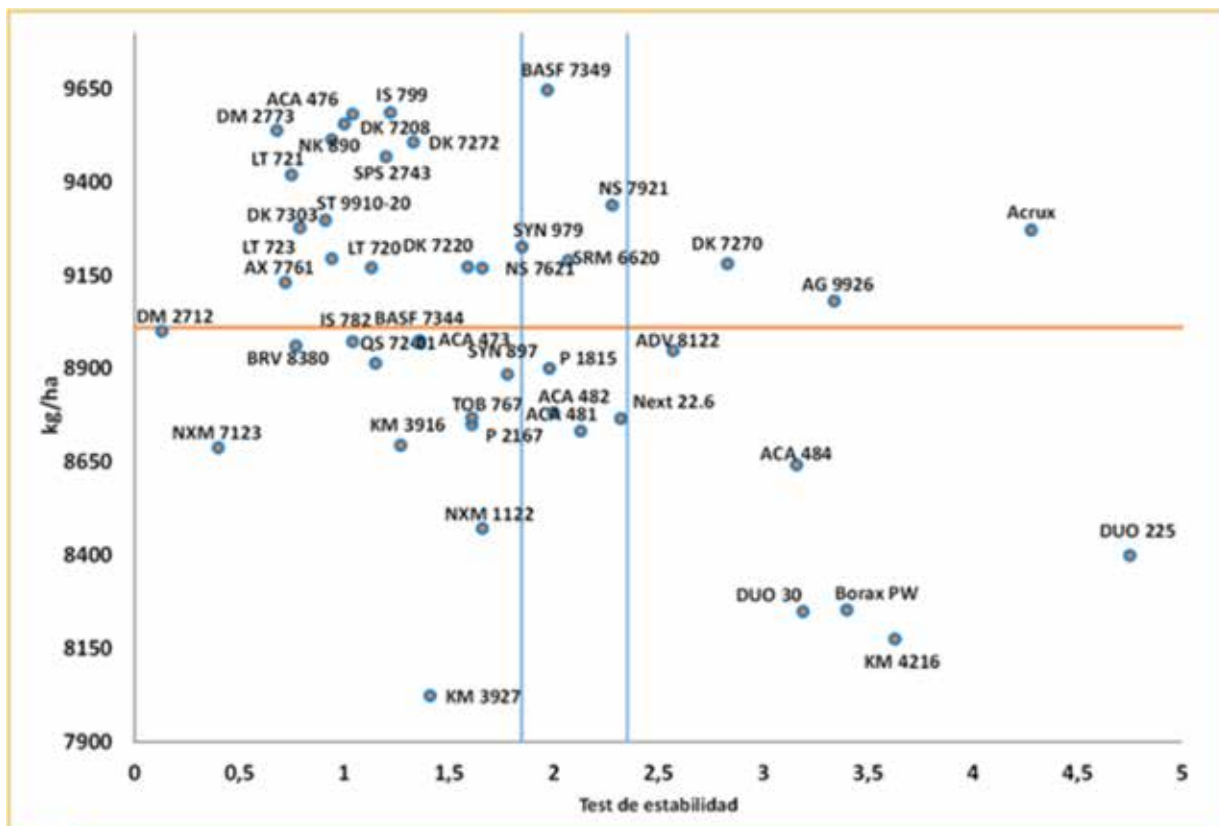
y que tuvo un comportamiento similar a través de todos los ambientes evaluados. Por otro lado, si un híbrido es inestable, esto implica que alcanza su mayor rendimiento en un número reducido de ambientes evaluados. En el caso de los ambientes, cuando un ambiente es estable, implica un comportamiento agronómico similar de los híbridos del set, mientras que por contrario, un ambiente inestable indica una mayor penalidad por elegir algunos híbridos del set, o viceversa, que un grupo reducido de genotipos se destacó sobre el resto.

El análisis de estabilidad se representa en un gráfico en donde en el eje de las abscisas se ubica el test de estabilidad y en el eje de las ordenadas se encuentran los rendimientos medios para cada una de las variables analizadas. Las líneas azules que cortan al eje del test de estabilidad corresponden a los valores críticos de 5% y 1% observándolo de izquierda a derecha. Los puntos que se encuentran a la derecha de dichas líneas son considerados como no estables. A su vez, la línea roja que corta al eje de las ordenadas representa el rendimiento promedio de todos los ensayos. De esta manera, los puntos que se encuentran por encima de esta línea se identifican con rendimientos superiores al promedio.

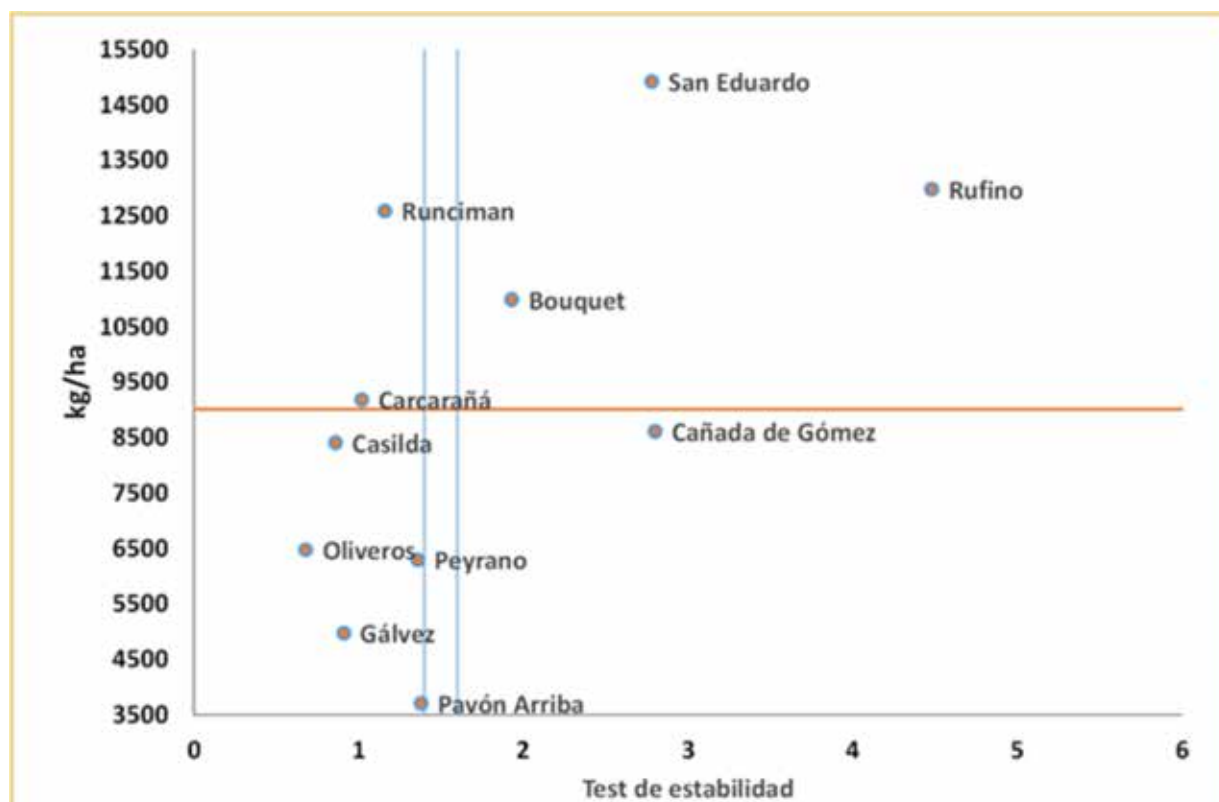
La Figura 2 muestra el análisis de estabilidad para híbridos. En el mismo puede observarse que



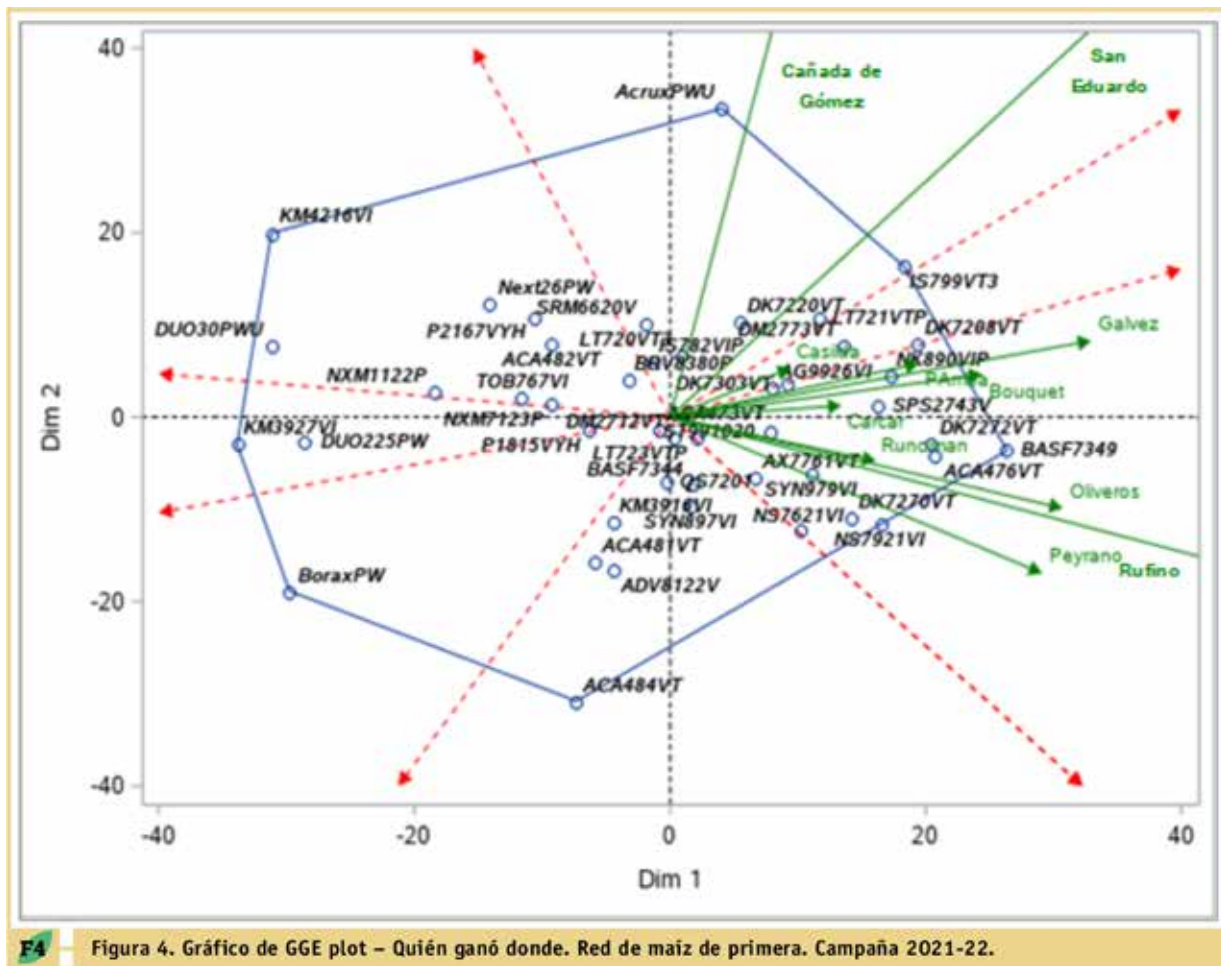
F1 Figura 1. Contribución de los componentes de la variancia al rendimiento promedio.



F2 Figura 2. Gráfico de Shukla. Estabilidad de híbridos de maíz de primera. Campaña 2021-22.



F3 Figura 3. Gráfico de Shukla. Estabilidad de sitios evaluados en la Red de maíz de primera 2021-22.



el rendimiento medio de todos los ensayos es de 9010 kg.ha<sup>-1</sup>. En base a dicha figura y a lo descrito anteriormente se observa que el híbrido BASF 7349 VT3P (9647 kg.ha<sup>-1</sup>) es el que alcanzó un mayor rendimiento promedio y se ubicó como estable ( $\alpha=0,01$ ). Otros híbridos estables de alto rendimiento son IS 799 VT3P (9586 kg.ha<sup>-1</sup>), ACA 476 VT3P (9582 kg.ha<sup>-1</sup>), DK 7208 VT3P (9556 kg.ha<sup>-1</sup>), DM 2773 VT3P (9538 kg.ha<sup>-1</sup>), SPS 2743 VIP3 (9514 kg.ha<sup>-1</sup>), DK 7272 VT3P (9507 kg.ha<sup>-1</sup>), NK 890 VIP3 (9468 kg.ha<sup>-1</sup>), LT 721 VTPRO4 (9419 kg.ha<sup>-1</sup>), NS 7921 VIP3 CL (9338 kg.ha<sup>-1</sup>) ( $\alpha=0,01$ ), ST 9910-20 (9298 kg.ha<sup>-1</sup>), DK 7303 VT3P (9278 kg.ha<sup>-1</sup>), SYN 979 VIP3 (9227 kg.ha<sup>-1</sup>) ( $\alpha=0,01$ ), SRM 6620 VT3P (9191 kg.ha<sup>-1</sup>), DK 7220 VTPRO4 (9173 kg.ha<sup>-1</sup>), LT 720 VT3P (9171 kg.ha<sup>-1</sup>), NS 7621 VIP3 (9170 kg.ha<sup>-1</sup>), AX 7761 VT3P (9131 kg.ha<sup>-1</sup>). Por otro lado, los híbridos AcruXPWU (9272 kg.ha<sup>-1</sup>), DK 7270 VT3P (9182 kg.ha<sup>-1</sup>), AG 9926 VIP3 (9081 kg.ha<sup>-1</sup>) presentaron también rendimientos superiores a la media general y se ubicaron en el cuadrante que los identifica por presentar mayor interacción con el ambiente.

En cuanto al análisis de estabilidad para los ambientes, la Figura 3 muestra que San Eduardo (14920 kg.ha<sup>-1</sup>), Rufino (12979 kg.ha<sup>-1</sup>) y Bouquet (10989 kg.ha<sup>-1</sup>) son ambientes donde se alcanzaron rendimientos superiores a la media y que presentan mayor interacción. Este comportamiento sugiere evaluar cuáles son los híbridos que se logran un mejor desempeño en estos ambientes. El rendimiento promedio de Runciman (12585 kg.ha<sup>-1</sup>) fue también superior a la media y se caracterizó en este análisis como un ambiente estable. Carcarañá (9179 kg.ha<sup>-1</sup>) y Casilda (8407 kg.ha<sup>-1</sup>) presentaron rendimientos promedio similares al promedio general y se ubicaron también como ambientes estables. Cañada de Gómez (8609 kg.ha<sup>-1</sup>) también tuvo un rendimiento promedio cercano al promedio general pero, en dicho ambiente, la elección de los híbridos debe ser seleccionada con cautela ya que presenta mayor interacción con los híbridos.



## ■ GGE Biplot

Una limitante del método de Shukla es que no indica qué híbridos son los recomendados para los ambientes evaluados, por ende, suele complementarse con un gráfico GGE Plot. El gráfico GGE (Figura 4) se utiliza para analizar la relación del híbrido y la IGA sin tener el peso de la variabilidad producida específicamente por el ambiente. Se construye un biplot donde se grafican los ejes que representan la mayor parte de la variabilidad (Dim 1 y Dim 2). A partir de este gráfico es posible determinar mega ambientes e identificar los híbridos que tuvieron mejor desempeño en cada uno de esos mega ambientes.

En la Figura 4 puede observarse un polígono delimitado por una línea azul en cuyos vértices se encuentran los híbridos con mayor contribución a la interacción híbrido por ambiente. Los mega ambientes de recomendación están delimitados por líneas rojas punteadas. Los híbridos que se encuentran en el vértice del polígono son los que mayor rendimiento tuvieron en los ambientes contenidos en el respectivo mega ambiente. Los vectores de los ambientes (líneas verdes) que tienen un ángulo estrecho entre sí indica que son ambientes similares, mientras que un ángulo más obtuso indica diferencias significativas entre la información aportada por los ambientes. A su vez, la longitud de los vectores de los ambientes indica la variabilidad presente en el mismo. A mayor longitud, hay una mayor diferenciación de los híbridos (Yan & Tinker, 2006). Los vectores cuyas longitudes se alejan más del origen son aquellos ambientes que se vieron más favorecidos por los híbridos del vértice que determina el mega ambiente.

En la Campaña actual fue posible identificar tres mega ambientes (Fig 4). En uno de ellos se encuentran los sitios Cañada de Gómez y San Eduardo, donde los híbridos que se destacaron fueron Acrux PWU e IS 799 VT3P. Un segundo mega ambiente fue conformado únicamente por el sitio Casilda donde DK 7208 VT3P fue el híbrido de mayor rendimiento, mientras que un tercer megambiente incluyó el resto de los sitios y en él se destacó el rendimiento de BASF 7349 especialmente en Oliveros, Peyrano y Rufino.

## Conclusiones

El análisis de la interacción híbrido por ambiente mediante las metodologías propuestas permite identificar híbridos de maíz con mayor potencial de rendimiento y que mejor se adaptan al sur de Santa Fe. Esta información producida por la Red de maíz de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Oliveros y sus Agencias de Extensión Rural, brinda una herramienta de apoyo en la elección de híbridos a los asesores y productores.

## Bibliografía

- Curin, F., Severini, A. D., González, F. G. y Otegui, M. E. 2020. Water and radiation use efficiencies in maize: Breeding effects on single-cross Argentine hybrids released between 1980 and 2012. *Field Crops Research*, 246, 107683. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107683>
- Di Matteo, J. A., Ferreyra, J. M., Cerrudo, A. A., Echarte, L. y Andrade, F. H. 2016. Yield potential and yield stability of Argentine maize hybrids over 45 years of breeding. *Field Crops Research*, 197, 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.023>
- Masiero, B. y Castellano, S.; 1991. Programa para el análisis de la interacción genotipo-ambiente usando el procedimiento IML de SAS. Actas I Congreso Latinoamericano de Sociedades de Estadística. Valparaíso, Chile. 1:47-54
- Presello, D. A., Giménez, F. J., & Ferraguti, F. J. 2022. La Producción de maíz en Argentina. *ACI Avances En Ciencias E Ingenierías*, 14(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2573>
- Shukla, G.K., 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype–environmental components of variability. *Heredity* 29, 237–245.
- U.S. Department of Agriculture. 2022. USDA. World Agricultural Supply and Demand Estimates Report World Agricultural Supply and Demand Estimates (WASDE) report No. 624, 12 de Mayo. Disponible en: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde>
- Yan, W., y N.A.Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Can. J. Plant Sci.* 86:623-645.
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., Szlavnic, Z., 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40, 597–605.