

Informe de Resultados Red Multiambiental de Evaluación de Híbridos de Maíz de Primera

Comisión de Agricultura CREA - Región Norte de Santa Fe

Campaña 2019/20



Índice

1. Introducción	2
2. Objetivos	2
3. Metodología	2
3.1. Sitios experimentales	2
3.2. Análisis estadístico	4
3.2.1. Estadísticas descriptivas	4
3.2.2. Diferencias de rendimiento	4
3.2.3. Análisis interacción genotipo x ambiente	5
3.2.4. Software	5
4. Resultados	6
4.1. Estadísticas descriptivas	6
4.2. Diferencias entre híbridos	8
4.3. Interacción GA	9
4.3.1. Modelo de regresión sobre la media	9
4.3.2. Modelo GGE	10
5. Consideraciones finales	12
6. Agradecimientos	12
7. Bibliografía	13

1. Introducción

El cultivo de maíz (*Zea mays*) es uno de los más importantes en los sistemas productivos de la región. Dada la alta producción de biomasa de este cultivo, su inclusión en la rotación genera un importante aporte de C al suelo y disminuye la incidencia de enfermedades y plagas en otros cultivos.

El rendimiento de un cultivo (fenotipo) es función del resultado acumulativo de un número de factores que inciden en la interacción entre la expresión del material genético del híbrido o variedad (genotipo) y las condiciones en las cuales la planta crece (ambiente). Los ambientes difieren en la cantidad y calidad de recursos que están disponibles para las plantas (agua, nutrientes y radiación), y las plantas capturan y convierten dichos recursos en biomasa y órganos de interés comercial, según su carga genética, que a su vez es modulada por el ambiente (Yan y Kang, 2002).

Según el objetivo de mejoramiento, los genotipos pueden ser seleccionados para mejorar su adaptación a un amplio rango de condiciones ambientales o bien para condiciones más específicas. En este último caso, la adaptación sitio-específica de los genotipos se relaciona con el fenómeno denominado *interacción genotipo-ambiente (GA)*, el cual se observa cuando la performance relativa de los fenotipos depende del ambiente en el que crecen (Malosetti et al., 2013).

La interacción **GA** reduce la asociación entre los valores fenotípicos y genotípicos, lo cual puede ocasionar que los genotipos seleccionados por su performance en un ambiente tengan mal desempeño en otro. Es por ello que en presencia de fuerte interacción **GA**, gran parte del éxito productivo del cultivo de maíz es el resultado de la elección de los materiales más aptos para cada ambiente.

2. Objetivos

- Resumir los datos de rendimiento de los híbridos de maíz evaluadas en la Red CREA RNSF de Ensayos Multiambientales durante la campaña 2019/20.
- Analizar estadísticamente los resultados comparando los rendimientos de los híbridos globalmente en toda la red.
- Comparar los rendimientos promedio de los híbridos y su estabilidad a través de las localidades de la Red.
- Explorar y describir los patrones de la interacción **GA**.

3. Metodología

3.1. Sitios experimentales

Durante la campaña 2019/20 se llevaron adelante ensayos comparativos de rendimiento de híbridos de maíz de primera en 5 localidades del Norte de la Provincia de Santa Fe. Los sitios seleccionados para los ensayos en cada Localidad corresponden a establecimientos productivos de miembros CREA de la Región Santa Fe Norte (Tabla 1). La distribución espacial de las localidades se muestra en la Figura 1.

Tabla 1: Localidades incluidas en el Ensayo

ID	Localidad	CREA	Miembro
1	Calchaqui	Cuña Boscosa	Maria Celia S.A.
2	Las Amintas	Extra CREA	Diego Faccioli
3	Margarita	Margarita	Vicen Agro S.A
4	San Justo	Ramayon	Ruben e Isidro Ferrero S.H
5	Vera y Pintado	Ramayon	La Criolla S.A

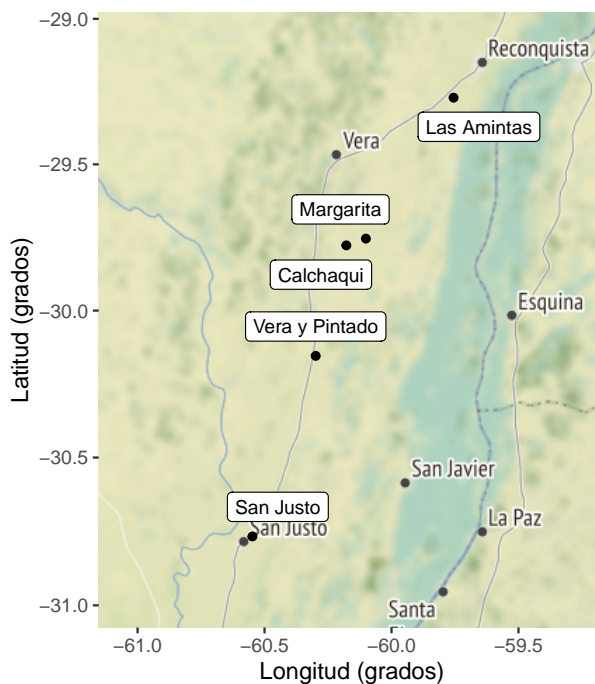


Figura 1: Distribución espacial de las localidades incluidas en la campaña 2019/20

En cada sitio se establecieron ensayos comparativos de rendimiento (ECR) utilizando un diseño experimental sin réplicas con controles sistemáticos (Kempton, 1997). Los materiales fueron sembrados con espaciamiento entre surco (EES) de 52 cm en franjas de entre 0 y 4.16 m de ancho por ∞ y $-\infty$ m de longitud. Las fechas de siembra, densidad, fertilización y fecha de cosecha de cada ensayo se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2: Características generales de los ensayos por localidad

ID	Localidad	Siembra	Densidad	EES	Fertilización (kg/ha)	Cosecha
1	Calchaqui	29/08/2019	4.0	0.52	DAP 110 + SolMix 80-20 130	03/03/2020
2	Las Amintas	30/08/2019	3.5	0.52	DAP 110	03/02/2020
3	Margarita	29/08/2019	4.0	0.52	SSP 220 + DAP 110 + UAN 156	12/03/2020
4	San Justo	27/08/2019	4.0	0.52	DAP 110 + SolMix 80-20 195	25/02/2020
5	Vera y Pintado	28/08/2019	4.0	0.52	DAP 110 + DAP 110	04/03/2020

Los tratamientos evaluados fueron 16 híbridos los cuales se presentan en la Tabla 3 junto al número de localidades en las que fueron evaluados. A excepción de los híbridos P 1815 VYHR, los híbridos restantes estuvieron presentes en las 5 localidades. Los híbridos NEXT 22.6 PW y ACA 480 VT3PRO actuaron como híbrido de referencia o *check* y sensor ambiental, respectivamente, con más de una réplica por localidad.

Tabla 3: Híbridos evaluadas y localidades en las que fueron incluidas

Semillero	Híbrido	Localidades
A.C.A	ACA 480 VT3PRO	1, 2, 3, 4, 5
A.C.A	ACA 481 VT3PRO	1, 2, 3, 4, 5
A.C.A	ACA 18M EXP.	1, 2, 3, 4, 5
A.C.A	ACA 473 VT3PRO	1, 2, 3, 4, 5
Argenetics	ARG 7712 MGRR	1, 2, 3, 4, 5
Brevant	NEXT 22.6 PW	1, 2, 3, 4, 5
Don Mario	DM 2772 VT3PRO	1, 2, 3, 4, 5
La Tijereta	LT 723 VT3PRO	1, 2, 3, 4, 5
Macro Seed	MS 7123 PW	1, 2, 3, 4, 5
Nidera	NS 7761 VT3PRO	1, 2, 3, 4, 5

Semillero	Híbrido	Localidades
Nidera	NS 7784 VT3PRO	1, 2, 3, 4, 5
Pioneer	P 1815 VYHR	1, 3, 4, 5
Pioneer	P 2089 VYHR	1, 2, 3, 4, 5
Sursem	SRM 6620 MGRR	1, 2, 3, 4, 5
Tobin	TOB 767 VIPTERA3	1, 2, 3, 4, 5

3.2. Análisis estadístico

3.2.1. Estadísticas descriptivas

Se calcularon estadísticas de resumen y gráficos descriptivos por híbrido y localidad para la variable respuesta rendimiento seco, expresado en kg ha⁻¹ con 14.5 % de humedad. El promedio de cada híbrido en la red se calculó utilizando la siguiente expresión:

$$\bar{y}_i = \frac{\sum y_{ij}}{n_i}$$

donde: \bar{y}_i es el rendimiento medio del híbrido i , y_{ij} es el rendimiento del híbrido i en la localidad j y n_i es el número de localidades donde fue evaluado el híbrido i . En aquellos casos donde se contó con más de una franja por localidad, los datos fueron promediados dentro de cada localidad. Así mismo el coeficiente de variación (CV) de cada híbrido en la red se calculó mediante la siguiente expresión:

$$CV_{y_i} = \frac{s_{y_i}}{\bar{y}_i} \times 100$$

donde: \bar{y}_i es el rendimiento medio del híbrido i y s_{y_i} es el desvío estándar de los rendimientos del híbrido i a través de las localidades:

$$s_{y_i} = \sqrt{\frac{\sum (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n_i - 1}}$$

Para la mayoría de los híbridos, el tamaño de la muestra de ambientes es aceptable para obtener promedios y las estimaciones de la variabilidad de los rendimientos a través de los ambientes.

3.2.2. Diferencias de rendimiento

3.2.2.1. Ajuste rendimientos por controles La información proveniente de las franjas control y sensor (NEXT 22.6PW y ACA 474 VT4PRO) se utilizó para ajustar los rendimientos de los híbridos no replicados considerando su ubicación, el rendimiento promedio de los controles cercanos y el rendimiento global de la localidad.

3.2.2.2. Modelo global Para comparar y determinar las diferencias de respuesta de los materiales evaluados a nivel región se ajustó a los datos un modelo lineal mixto, i.e. con efectos fijos y aleatorios sobre el rendimiento medio global de la Red. Los híbridos fueron considerados efectos fijos, mientras que las localidades y su interacción con los híbridos, efectos aleatorios:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + l_j + d_{j(i)} + e_{ijk}$$

donde: y_{ijk} representa la respuesta relativa del híbrido i sembrado en la localidad j en la franja k ; μ es la media general de los ensayos de la red, τ_i es efecto o diferencia del híbrido i respecto a la media general del ensayo, l_j el efecto de la localidad j , $d_{j(i)}$ el efecto de variabilidad del híbrido i sembrado en la localidad j y e_{ijk} el error experimental asociado a la franja k del híbrido i sembrado en la localidad j . Se asume que tanto l_j , $d_{j(i)}$ como e_{ijk} son independientes y tienen distribución normal con media 0 y varianzas σ_l^2 , σ_d^2 y σ_e^2 .

Este modelo asume que los niveles de Localidad es una muestra aleatoria de las localidades de la Región Norte y permite realizar inferencia más amplia sobre la respuesta de los híbridos. La interacción Híbrido:Localidad

representaría la heterogeneidad de los híbridos dentro de cada Localidad y siendo el error experimental estimado a partir de la información de los híbridos replicados (Piepho et al., 2012). La interacción híbrido-localidad fue estimada utilizando la información de NEXT 22.6 PW y ACA 480 VT3PRO que fueron los únicos materiales repetidos dentro de todas las localidades.

Las diferencias de rendimiento entre híbridos se determinaron mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, considerando un nivel de significancia de 5 %.

3.2.3. Análisis interacción genotipo x ambiente

Para explorar los patrones de interacción **GA** se utilizaron dos procedimientos: 1) regresión sobre la media (Finlay y Wilkinson, 1963) y 2) análisis de efecto principal genotipo e interacción genotipo x ambiente (Yan y Kang, 2002)

3.2.3.1. Modelo de regresión en la media La heterogeneidad ambiental explorada por los híbridos considerados en la red se caracterizó mediante los rendimientos medios de cada Localidad. Esta covariable denominada **Índice Ambiental (IA)** fue utilizada para modelar la interacción **GA** a partir del siguiente modelo:

$$y_{ij} = \mu_i + \beta_i X_j + e_{ij}$$

donde: y_{ij} es el rendimiento del híbrido i en el ambiente o localidad j , μ_i es la ordenada al origen de cada híbrido, X_j el índice ambiental de la localidad j , y β_i la pendiente o sensibilidad de el híbrido i a los cambios del IA .

Según este modelo, μ_i representa el comportamiento de los híbridos en el ambiente promedio y los coeficientes β_i la sensibilidad de los Híbridos a la calidad del ambiente caracterizada por el rendimiento medio de la localidad. Entonces, si la interacción **GA** es significativa representa la heterogeneidad de respuestas, i.e. β distintos para los híbridos. El valor de β indica la sensibilidad del híbrido a los cambios de calidad del ambiente. Si $\beta_i > 1$ indica que el híbrido i tiene una respuesta mayor al promedio (a mayor calidad ambiental, mayor rendimiento), en cambio si $\beta_i < 1$, entonces el híbrido responde menos.

3.2.3.2. Modelo de efecto principal genotipo e interacción genotipo-ambiente (GGE) Se analizó el efecto combinado de los genotipos y la interacción **GA** a partir de la tabla de doble entrada de rendimiento de híbrido por localidad ajustando un modelo de regresión de sitios (Cornelius et al., 1996):

$$y_{ij} - \mu_i = \sum \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + e_{ij}$$

donde: y_{ij} representa el rendimiento del híbrido i sembrado en la localidad j , μ_i es la media general de los ensayos de la red, λ_k es el factor de escala, α_{ik} y γ_{jk} los scores genotípicos y ambientales extraídos de la matriz de doble entrada de datos genotipo-ambientales; y e_{ij} el error experimental asociado a la franja del híbrido i sembrado en la localidad j . Se asume que e_{ij} son independientes y tienen distribución normal con media 0 y varianza σ_e^2 .

Este procedimiento modela la desviación de la media de cada híbrido en cada localidad (estimada por la franja sin réplica) como una suma de componentes principales que representan la combinación lineal de los scores de los híbridos, los scores ambientales y factores de escala (λ). Mediante un biplot se representan los scores genotípicos y ambientales como puntos en el plano de los primeros dos componentes principales que capturan la mayor proporción de variabilidad, y mediante una interpretación geométrica (distancias entre puntos, ángulos y regiones) se delimitan mega-ambientes en función de la respuesta de genotipos y se analiza la performance y estabilidad de genotipos según ambientes.

3.2.4. Software

Los datos fueron procesados utilizando el software estadístico R versión 3.5.3 (R Core Team, 2019) y los paquetes nlme (Pinheiro et al., 2018), emmeans (Lenth, 2019), y tidyverse (Wickham, 2017)

4. Resultados

4.1. Estadísticas descriptivas

En la Tabla 4 se muestran los rendimientos promedio por localidad de los híbridos utilizados como *check* o control y sensor. En general la respuesta estos híbridos fue estable dentro de cada localidad, con coeficientes de variación promedios de 8 y 10 % para el control NEXT 22.6 PW y el sensor ACA 480 VT3PRO, respectivamente. Esto indica una alta homogeneidad de las condiciones experimentales dentro de estas localidades. Los ensayos con menor variabilidad fueron Vera y Pintado y Margarita ($CV < 5\%$), mientras que en Calchaqui y San Justo se registró mayor variabilidad en los materiales de referencia.

Tabla 4: Rendimiento seco medio y coeficiente de variación por localidad de los híbridos utilizados como *check* y sensor

Localidad	control	media	CV
Calchaqui	control	8065	12
Calchaqui	sensor	6314	15
Las Amintas	control	6900	8
Las Amintas	sensor	6499	14
Margarita	control	5743	5
Margarita	sensor	5326	6
San Justo	control	6606	15
San Justo	sensor	6217	10
Vera y Pintado	control	4131	1
Vera y Pintado	sensor	3640	5

En la Tabla 5 se presentan los rendimientos y *CV* por Híbrido y Localidad. La variabilidad dentro de cada localidad, la cual indica la dispersión de los rendimientos de los híbridos, fue baja a moderada con *CV* entre 7 y 19 %. Por otro lado, el nivel de variabilidad de los híbridos a través de los ambientes fue moderada, aproximadamente el 50 % de los híbridos tuvo *CV* entre 20 y 26 %.

La Figura 2 muestra los rendimientos medios por localidad y el rendimiento medio de la campaña con línea continua. Se observa el mayor potencial de rendimiento de Calchaqui y Las Amintas ($\bar{Y} = 6700 - 6800$) aunque menos variables en esta última localidad ($CV = 19$ vs $CV = 7$). En Vera y Pintado los rendimientos fueron en promedio los más bajos de la red.

En la Figura 3 se presentan los rendimientos medios y desviaciones estándar de los híbridos considerando la variabilidad entre localidades. Este gráfico muestra la variación de los rendimientos medios dentro de la red y la variabilidad de respuesta según las localidades. En general todos los híbridos presentaron comportamiento similar entre los distintos ambientes, es decir, el ordenamiento según el potencial de la localidad.

La Figura 4 presenta la relación entre los rendimientos medios y la estabilidad (indicada por el *CV*) de los híbridos a través de las localidades incluidas en la red durante la campaña 2019/20. Tomando el rendimiento y *CV* medios de la red (líneas punteadas), se observa que los híbridos se diferenciaron por nivel de rendimiento y en menor medida su estabilidad. Los híbridos TOB 767 VIPTERA3 y NS 7761 VT3PRO mostraron estabilidad (i.e. menos diferencia entre localidades) con los rendimientos mas altos. Un segundo grupo con rendimientos algo inferiores y mayor variabilidad fue conformado por NEXT 22.6 PW, P 2089 VYHR, SRM 6620 MGRR y MS 7123 PW. El híbrido ARG 7712 MGRR alta variabilidad con rendimiento promedio bajo.

Tabla 5: Rendimiento seco medio y coeficiente de variación por Híbrido y localidad

	Calchaqui	Las Amintas	Margarita	San Justo	Vera y Pintado	media	CV
TOB 767 VIPTERA3	7840	6826	6763	7171	4230	6566	21
NS 7761 VT3PRO	6880	7492	5923	7598	4879	6555	18
P 2089 VYHR	8401	6641	6282	6260	4053	6328	24
NEXT 22.6 PW	8065	6900	5743	6606	4131	6289	23
MS 7123 PW	7580	7260	4777	7429	3774	6164	29
SRM 6620 MGRR	7307	6670	6086	6769	3535	6073	24

	Calchaqui	Las Amintas	Margarita	San Justo	Vera y Pintado	media	CV
LT 723 VT3PRO	7338	6478	4843	7671	3620	5990	29
ACA 18M EXP.	5535	7798	5109	7142	3826	5882	27
NS 7784 VT3PRO	7134	6188	5780	6330	3867	5860	21
ACA 473 VT3PRO	7589	6773	5431	5103	4017	5783	24
DM 2772 VT3PRO	5671	7251	6235	5306	4230	5739	20
ACA 480 VT3PRO	6314	6499	5326	6217	3640	5599	21
ACA 481 VT3PRO	5814	5992	5903	5822	3870	5480	16
P 1815 VYHR	5716		5120	4656	4119	4903	14
ARG 7712 MGRR	3592	6498	4510	5082	3043	4545	30
media	6718	6805	5589	6344	3922	5850	23
CV	19	7	11	15	10	10	21

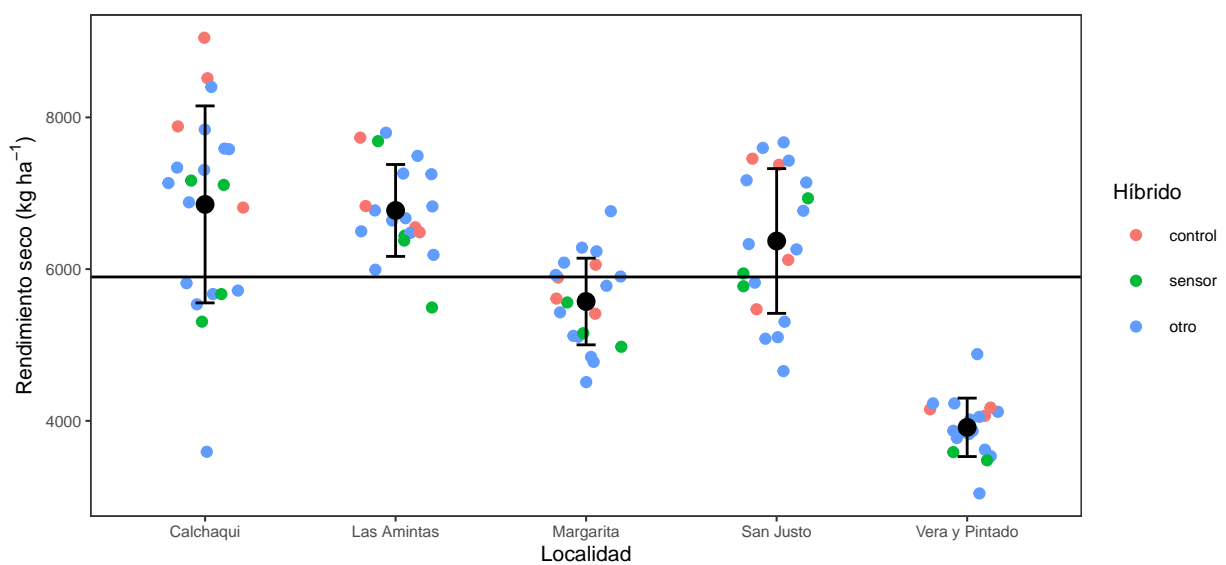


Figura 2: Rendimiento seco medio y desvío estándar por Localidad

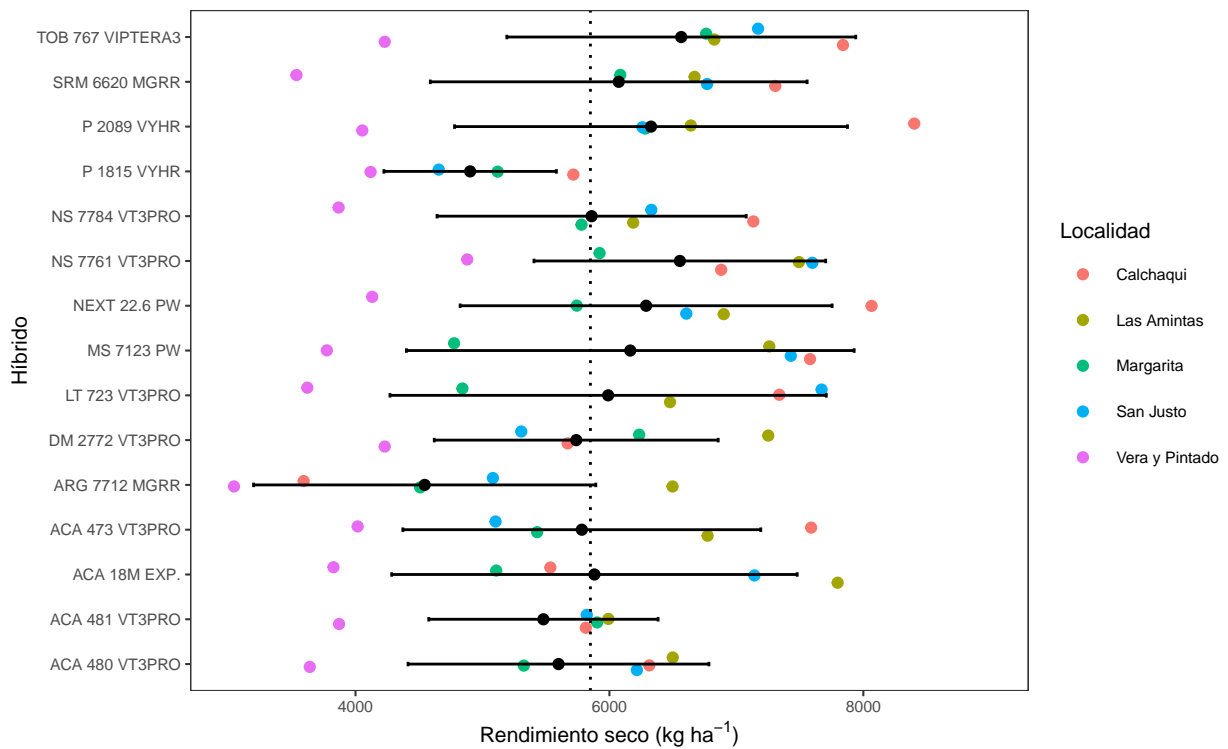


Figura 3: Rendimientos medios y desviación estándar de los híbridos

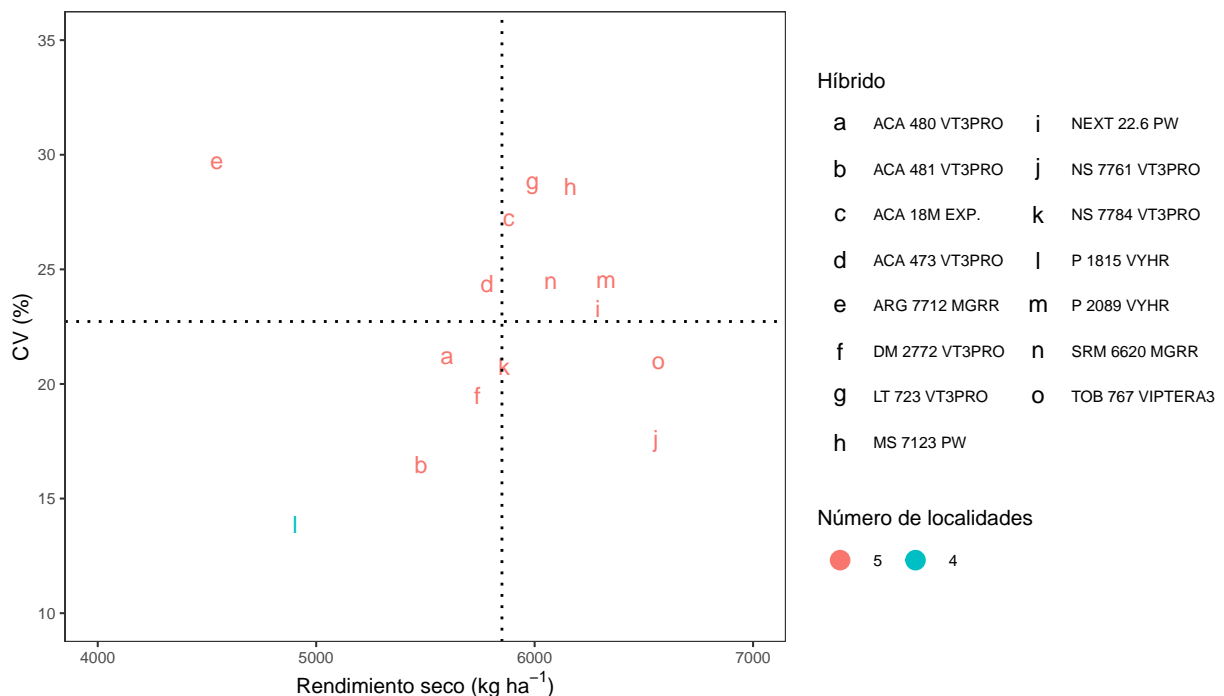


Figura 4: Rendimiento seco medio (en kg/ha) y CV (%) de los híbridos evaluados en la campaña 2019/20

4.2. Diferencias entre híbridos

Al comparar los resultados de modelos con y sin interacción, las diferencias a favor de un modelo con interacción no son estadísticamente significativas respecto a un modelo más parsimonioso, i.e sin interacción (LRT =

1.5e-7, $p = 0.9997$). En la Tabla 6 se presentan los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) del modelo mixto ajustado sin término de interacción:

Tabla 6: Tabla de Análisis de la Varianza del modelo lineal mixto

	gl num	gl den	F	valor p	p-value
(Intercept)	1	82	114.72492	0	<.0001
Híbrido	14	82	10.90837	0	<.0001

Las diferencias de rendimiento entre híbridos fueron estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) en toda la red. En la Tabla 7 se listan los valores medios ajustados, errores estándar e intervalos de confianza de los rendimientos medios de cada híbrido. La amplitud de los IC_{95} responde a que el espacio de inferencia es toda la región de donde proviene la muestra de las 5 localidades analizadas y la precisión alcanzada según el número de réplicas.

Tabla 7: Rendimientos intervalos de confianza 95 % ajustados por el modelo-mixto

	Híbrido	Rend. medio	Error estándar	gl	LI IC95	LI IC95	grupo
5	NS 7761 VT3PRO	6783	564	4	5218	8349	1
7	TOB 767 VIPTERA3	6273	564	4	4708	7839	12
1	DM 2772 VT3PRO	6191	564	4	4626	7756	123
14	NEXT 22.6 PW	6107	554	4	4570	7644	23
8	P 2089 VYHR	6068	564	4	4502	7633	234
2	P 1815 VYHR	5981	565	4	4413	7549	234
3	ACA 473 VT3PRO	5945	564	4	4380	7511	234
11	NS 7784 VT3PRO	5836	564	4	4271	7402	234
4	ACA 18M EXP.	5819	564	4	4253	7384	234
12	ACA 481 VT3PRO	5814	564	4	4249	7379	234
13	MS 7123 PW	5754	564	4	4189	7319	234
9	SRM 6620 MGRR	5612	564	4	4046	7177	345
6	ACA 480 VT3PRO	5611	554	4	4073	7148	4
15	LT 723 VT3PRO	5595	564	4	4029	7160	345
10	ARG 7712 MGRR	4989	564	4	3424	6554	5

De acuerdo con el modelo, los híbridos NS 7761 VT3PRO, TOB 767 VIPTERA3 y DM 2772 VT3PRO no presentaron diferencias estadísticamente significativas y conformaron el grupo con mejores rendimientos. El análisis de los componentes de la varianza indica que el 50 % de la variación fue debida a las diferencias de localidades.

4.3. Interacción GA

4.3.1. Modelo de regresión sobre la media

Las diferencias de los rendimientos medios de cada Localidad resumen la heterogeneidad de condiciones ambientales a las cuales fueron sometidos los híbridos evaluados (Figura 3). Utilizando esta información se construye un índice ambiental (IA) que se utiliza para modelar la interacción genotipo x ambiente a partir de rendimientos de cada Híbrido y ambiente. En la siguiente tabla se presenta la tabla de ANOVA del modelo.

Tabla 8: Tabla de ANOVA del modelo de regresión para la interacción GxA

	gl	SC	CM	F	Valor p
Localidad	4	84490531	21122632.8	37.9766	0.0000
Híbrido	14	19622244	1401588.9	2.5199	0.0108
Híbrido:IA	14	4922784	351627.5	0.6322	0.8224
Residuals	41	22804264	556201.6		

Según este análisis, no se detecta interacción significativa entre los materiales evaluados y el índice ambiental ($p = 0.8224$). Esto implica que los datos no fueron suficientes para detectar heterogeneidad entre los materiales en la relación a la *sensibilidad*, es decir la relación entre el *IA* y los rendimientos. No obstante, a modo descriptivo se presentan las gráficas correspondientes a las normas de reacción (Figura 7) a los cambios del *IA* en relación a la respuesta promedio (recta 1:1).

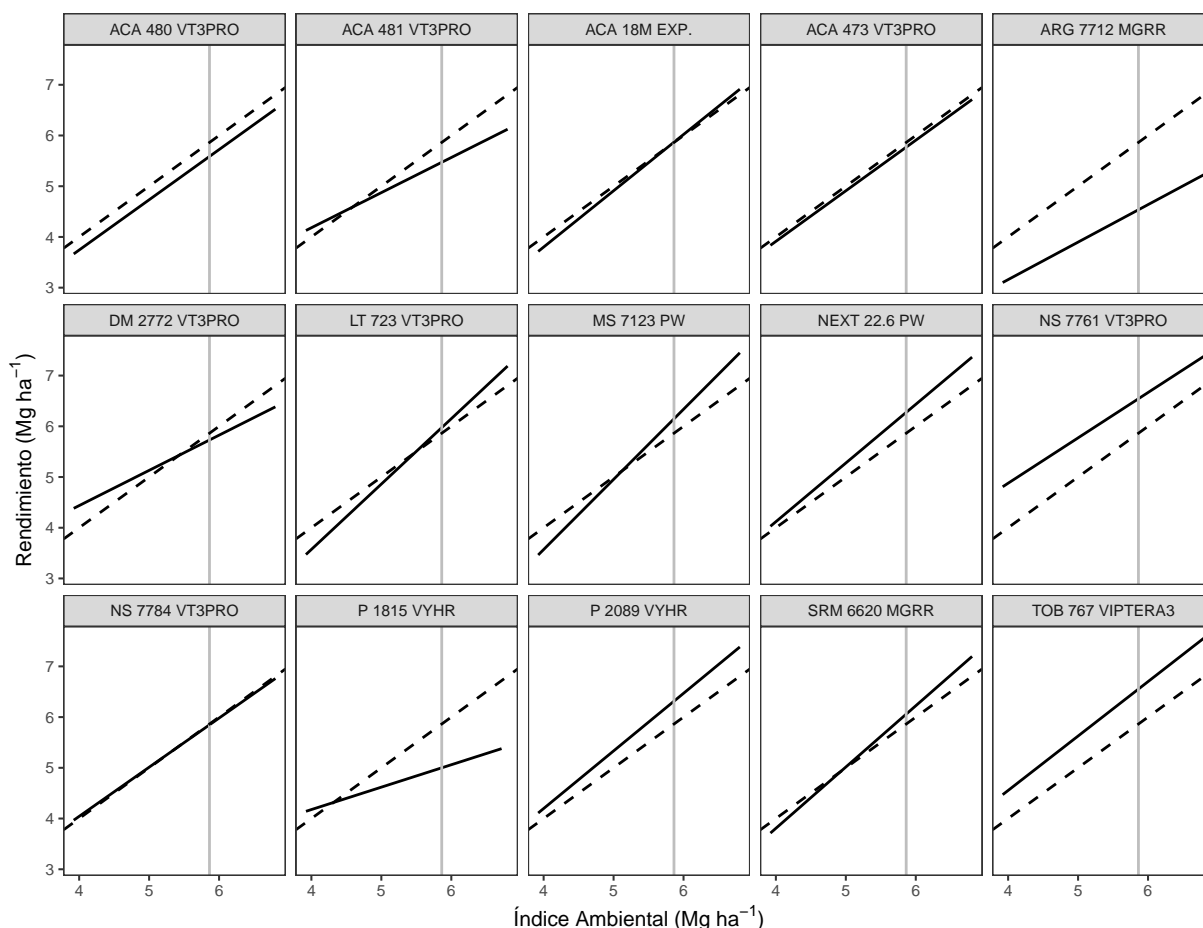


Figura 5: Respuesta diferencial de cada Híbrido a los cambios del IA

Las pendientes (β) de las rectas (línea sólida) representan la sensibilidad de los híbridos a la calidad del ambiente caracterizada por el rendimiento medio de la localidad. La sensibilidad promedio (línea punteada) representa la respuesta general de todos los híbridos. Para un Híbrido cualquiera, si el valor de la pendiente es $\beta_i > 1$, el híbrido en cuestión tiene mayor sensibilidad a los cambios de calidad del ambiente (a mayor calidad ambiental, mayor rendimiento, y vice versa). En cambio si $\beta_i < 1$, entonces el híbrido es menos sensible y tendría mejores respuestas en ambientes malos y respuestas inferiores al promedio en ambientes buenos. Las diferencias entre las pendientes de los distintos híbridos representa la interacción **GA**.

La norma de reacción de todos los híbridos fue muy similar a la evolución de IA con algunas pequeñas diferencias en los ambientes más productivos. Esto condice con los resultados del modelo anteriormente presentado en el cual la heterogeneidad de pendientes no fue estadísticamente significativa.

4.3.2. Modelo GGE

Para este análisis sólo se utilizó los rendimientos ajustados de los híbridos que estuvieron representados en todas las localidades, los cuales fueron centrados por la media de cada ambiente. El siguiente biplot (Figura 9) resume el análisis combinando el efecto de principal de los genotipos y la interacción **GA** utilizando el modelo GGE propuesto por Yan y Kang (2002).

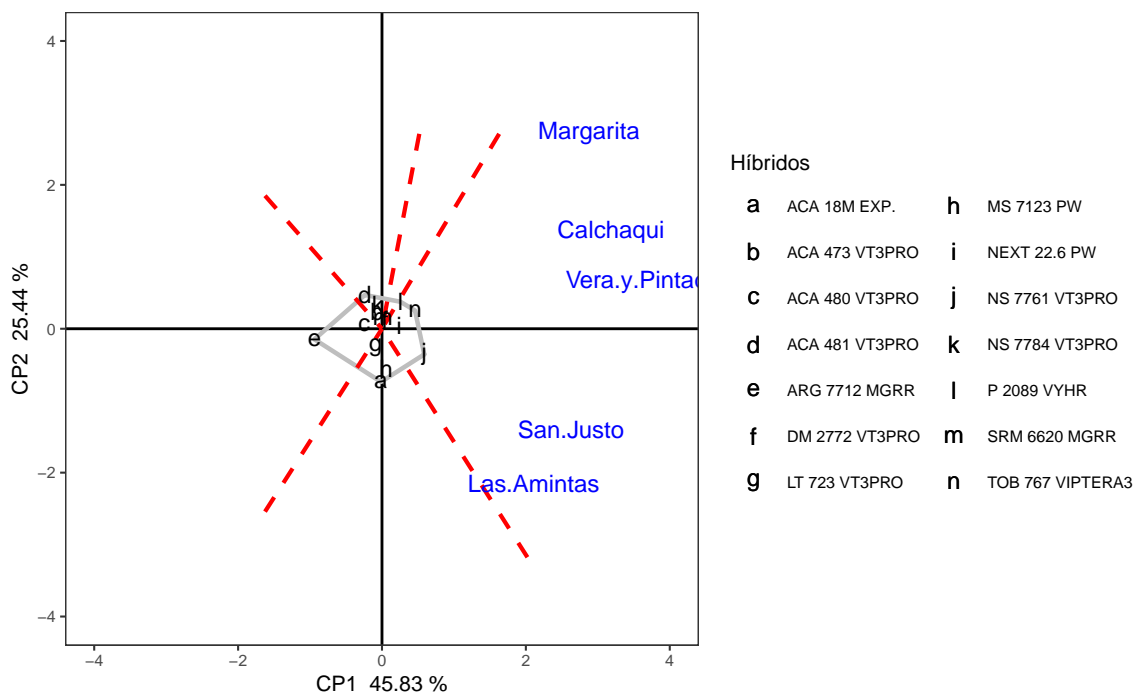


Figura 6: Análisis de mega-ambientes y genotipos ganadores modelo GGE

En dicho gráfico los ejes X e Y representan los componentes principales (CP1, y CP2) que sintetizan información genotípica y ambiental. El efecto de genotipo e interacción **GA** explicaría 71 % de la variación total. Los genotipos están representados en letras negras y las localidades por sus nombres en azul. El polígono que se forma conectando los genotipos con performance más alejada del origen (promedio) engloba a todos los genotipos. Las líneas cortadas rojas parten del centro y son perpendiculares a uno de los lados del polígono. Éstas representan el ambiente teórico donde los genotipos de los vértices de lado correspondiente tienen igual performance. En cada sector delimitado, el híbrido ubicado en el vértice es el que mejor desempeño tuvo, i.e. “ganador”. La proximidad entre los identificadores de genotipos y localidades, o bien el ángulo que formarían desde el origen, indican similitud o relación que puede ser positivas, negativas o nulas según los ángulos sean agudos, obtusos o rectos. De este modo, las localidades dentro de un mismo sector podrían agruparse dentro de un mismo mega-ambiente si se encuentran próximos formando ángulos agudos.

En este caso, en función de la respuesta de los híbridos, las 5 localidades conformarían un mega-ambiente donde cada localidad está ubicada en un sector diferente debido a la poca asociación entre las respuestas observadas en algunas de ellas (p.e. Margarita vs San Justo y Las Amintas). En este ambiente, que equivale a las localidades incluidas en la red, el híbrido ns 7761 VT3PRO y TOB 767 VIPTERA3 tuvieron mejor desempeño.

La Figura 10, muestran el análisis de promedio y estabilidad o coordinación de ambiente promedio, el cual permite ordenar genotipos dentro de mega-ambientes. La flecha indica el eje de las abscisas y representa el ambiente promedio, el sentido de la flecha indica dirección de los mayores rendimientos. Las proyecciones de los genotipos sobre dicho eje son proporcionales a el rendimiento medio y representan el efecto principal del genotipo: a mayor distancia desde el origen (promedio), mayor contribución al efecto **genotipo**. El eje Y perpendicular al del ambiente promedio representa la contribución de los genotipos a la interacción **GA**, la cual es un indicador de su estabilidad. En este caso, el análisis se realiza sobre la región que incluye las tres localidades.

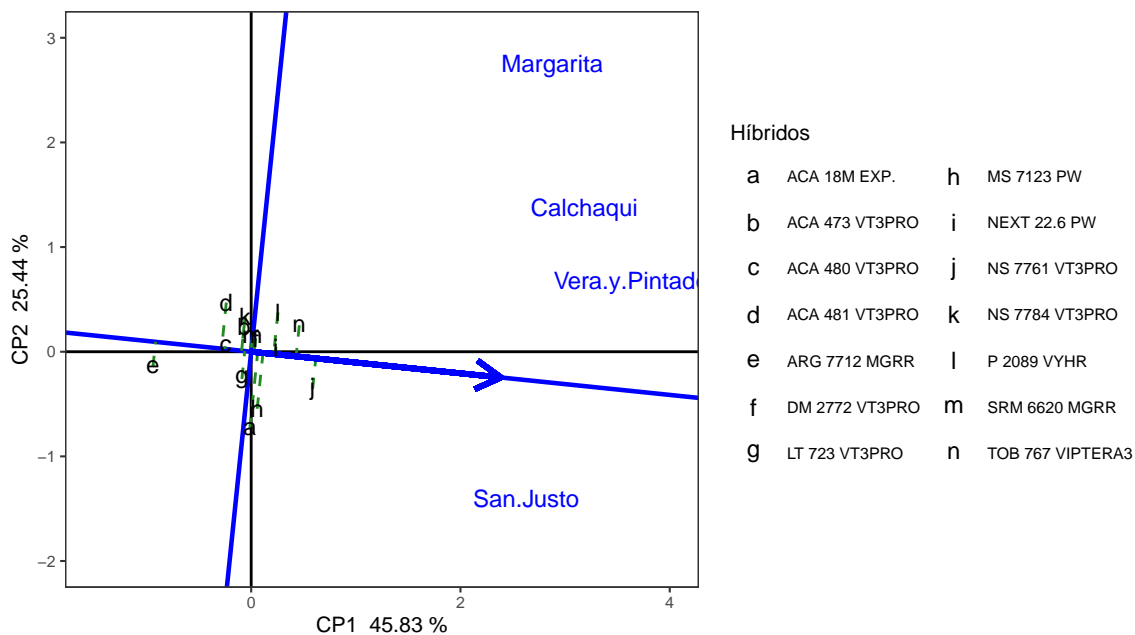


Figura 7: Biplot rendimiento medio y estabilidad

En este caso el orden de los híbridos con performance por encima del promedio estaría compuesto por: NS 7761 VT3PRO > TOB 767 VIPTERA3 > NEXT 22.6 PW = P 2089 VYHR. En cuanto a la estabilidad, de éstos, NEXT 22.6 PW tuvo rendimientos más estables.

5. Consideraciones finales

En general se observó una moderada variabilidad de los rendimientos de cada híbrido a través de las distintas localidades evaluadas y moderada heterogeneidad de respuesta dentro de cada localidad. Las diferencias de los rendimientos globales estuvieron en el orden de 1700 kg o menos y los materiales NS 7761 VT3PRO, TOB 767 VIPTERA3 y DM 2772 VT3PRO conformaron un grupo con los mayores rendimientos a nivel de la red.

El estudio de la interacción **GA** mediante el método de regresión confirmó la homogeneidad de las respuestas de los híbridos donde los patrones de reacción fueron similares al patrón promedio.

Por otro lado el análisis de **GGE** mostró que entre los ambientes evaluados no se diferenciaron ambientes. A nivel global se ordenaron los híbridos según performance y estabilidad siendo NS 7761 VT3PRO > TOB 767 VIPTERA3 > NEXT 22.6 PW = P 2089 VYHR los cuatro con mejor respuestas superior al promedio.

6. Agradecimientos

- A las empresas semilleras: A.C.A.; Brevant, La Tijereta, Pioneer, Sursem, Tobin, Argenetics, Advanta, Don Mario y Macro Seed, por haber confiado un año más en nuestra zona y en la utilidad de los Ensayos Comparativos de Rendimiento.
- A las Empresas CREA de la Región Norte de Santa Fe que año tras año realizan el esfuerzo de siembra conducción y cosecha de estas macro parcelas en sus establecimientos, dedicando personal tiempo y recursos para tal fin.
- Al productor Extra CREA e Ing. Agrónomos, Diego Faccioli, por haber colaborado con realizar un sitio de Ensayo a los fines de generar información. Agradecemos intensamente el aporte del tiempo para realizar la conducción y cosecha, como así también el costo que estas acciones hubieren requerido.

7. Bibliografía

Cornelius, P.L., J. Crossa, and M.S. Seyedsadr. (1996). Statistical tests and estimators for multiplicative models for genotype-by-environment interaction. In M.S. Kang and H.G. Gauch, Jr. (ed.) Genotype-by-environment interaction. CRC Press, Boca Raton, FL.

Dumble S. (2017). GGEbiplots: GGE Biplots with 'ggplot2'. R package version 0.1.1. <https://CRAN.R-project.org/package=GGEbiplots>

Federer, W. T.; Reynolds, D. B.; Crossa, J. Combining Results from Augmented Designs over sites. *Agronomy Journal* 2001, 93:389–395.

Finlay, K. W., and Wilkinson, G.N. (1963). The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14, 742–754.

Gauch, H. G. Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE. *Crop Science* 2006, 46, 1488, doi: 10.2135/cropsci2005.07-0193.

Kempton, R.A. (Ed) (1997). Statistical methods for plant variety evaluation. Plant breeding series. Chapman & Hall, London. pp. 191.

Malosetti, Marcos, Jean-Marcel Ribaut, and Fred A. van Eeuwijk. 2013. "The Statistical Analysis of Multi-Environment Data: Modeling Genotype-by-Environment Interaction and Its Genetic Basis." *Frontiers in Physiology* 4 (March). doi:10.3389/fphys.2013.00044.

Piepho, H.P., C. Richter, J. Spilke, K. Hartung, A. Kunick, and H. Thöle. 2011. Statistical aspects of on-farm experimentation. *Crop and Pasture Science* 62(9): 721.

Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, Sarkar D, R Core Team (2018). *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-137, URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.

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/>.

Russell Lenth (2019). emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.3.3. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>

Wickham, H. (2017). tidyverse: Easily Install and Load the 'Tidyverse'. R package version 1.2.1. <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse>

Yan, W.; Kang, M. S. (2002). GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. 1st edition. CRC Press. pp. 288.