

Informe de Resultados Red Multiambiental de Evaluación de Híbridos de Maíz tardío*

Comisión de Agricultura CREA - Región Norte de Santa Fe

Campaña 2017/2018

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	9
4.3. Interacción GA	9
4.3.1. Modelo de regresión sobre la media	9
5. Consideraciones finales	11
6. Agradecimientos	11
7. Bibliografía	11

*Informe elaborado por el Servicio de Procesamiento y Análisis Estadístico de Datos de Interés Agronómico de la FCA-UNL.

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 de Ensayos Multiambientales durante la campaña 2017/18.
- Analizar estadísticamente los resultados comparando los rendimientos de los híbridos por localidad.
- 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 2017/18 se llevaron adelante ensayos comparativos de rendimiento de híbridos de maíz en 2 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	Arroyo Ceibal	Villa Ocampo	La Lonja SRL
2	Margarita	Margarita	Vicen Agro S.A

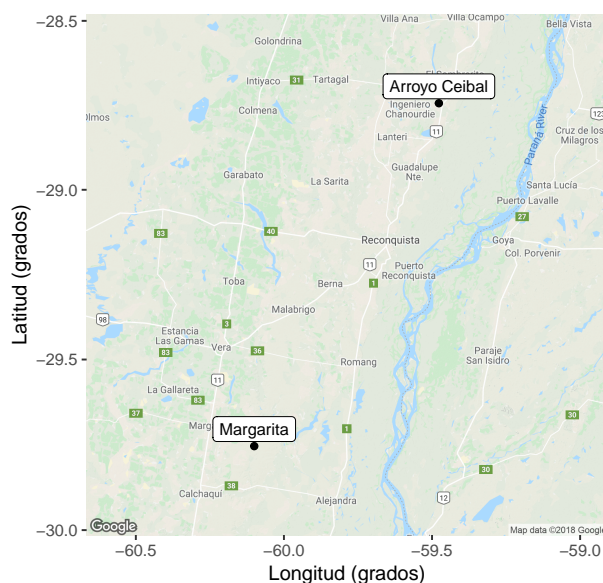


Figura 1: Distribución espacial de las localidades incluidas en la campaña 2017/18

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 espaciamento entre surco (EES) de 52 cm en franjas de entre 2.6 y 6.24 m de ancho por 320 y 330 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	N (kg N/ha)	P (kg P2O5/ha)	Cosecha
1	Arroyo Ceibal	04/01/2018	3.12	0.52	64	46	07/06/2018
2	Margarita	04/01/2018	3.12	0.52			14/07/2018

Los tratamientos evaluados fueron 20 híbridos las cuales se presentan en la Tabla 3 junto al número de localidades en las que fueron evaluados.

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

Semillero	Híbrido	Localidades
Dow Agro	DOW 507 PW	1, 2
Dow Agro	NEXT 22.6 PW	1, 2
La Tijereta	LT 721 VT3PRO	1, 2
La Tijereta	LT 722 VT3PRO	1, 2
Limagrain	LG 30775 VT3PRO	1, 2
Monsanto	DK 72-20 VT3PRO	1, 2
Monsanto	DK 73-10 VT3PRO	1, 2
Monsanto	DK 77-10 VT3PRO	1, 2
Monsanto	DK 78-20 VT3PRO	1, 2
Alianza	ACIS PW	1, 2
Alianza	ACRUX PW	1, 2
Alianza	CSX 169410 PW (EXP)	1, 2
Nidera	AX 7784 VT3PRO	1, 2
Nidera	AX 7822 CL VT3PRO	1, 2
Nidera	AX 7917 VT3PRO	1, 2
Pioneer	P2089 VYHR	1, 2
Sursem	SRM 553 VT3PRO	1, 2
Sursem	SRM E 1704 VIPTERA3 (EXP)	1, 2

Semillero	Híbrido	Localidades
Syngenta	SY 126 VIPTERA3	1, 2
Syngenta	SY 860 VIPTERA3	1, 2

Todos los híbridos estuvieron presentes en todas las localidades. El híbrido LT 722 VT3PRO actuó como híbridos de referencia o *check* con más de una réplica. También estuvieron replicados los híbridos LG 30775 VT3PRO y DK 72-20 VT3PRO en Margarita y Arroyo Ceibal respectivamente.

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 15 % 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:

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

Cabe mencionar que el tamaño de la muestra de ambientes es reducido ya que sólo se dispone información de dos localidades, por lo tanto la representatividad de los promedios, y más aún, las estimaciones de la variabilidad de los rendimientos a través de los ambientes es limitada.

3.2.2. Diferencias de rendimiento

3.2.2.1. Ajuste rendimientos por controles

La información proveniente de las franjas control repetidas o *checks* (LT 722 VT3PRO) se utilizó para ajustar los rendimientos de los híbridos no replicadas considerando su ubicación, el rendimiento promedio de los controles cercanos y el rendimiento global de la localidad.

3.2.2.2. Por localidad

Se analizaron las diferencias de rendimiento de los materiales dentro de cada localidad ajustando los rendimientos corregidos por los *checks* a un modelo lineal por localidad.

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

donde: y_{ijk} representa la respuesta ajustada del híbrido i sembrado en la franja j ; μ es la media general del ensayo en esa localidad, τ_i es efecto o diferencia del híbrido i respecto a la media general del ensayo, y e_{ij}

el error experimental asociado a la franja j del híbrido i sembrado en la localidad. Se asume que e_{ijk} es una variable independiente y tienen distribución normal con media 0 y varianza σ_e^2 .

Este modelo asume que los datos analizados son una de las posibles realizaciones dentro de cada localidad considerada por separado, por lo tanto el espacio de inferencia es más restringido que en el caso anterior.

Las diferencias de rendimiento entre híbridos se determinaron mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, considerando un nivel de significancia de 10%.

3.2.3. Análisis interacción genotipo x ambiente

Para explorar los patrones de interacción **GA** se aplicó el procedimiento de regresión sobre la media (Finlay y Wilkinson, 1963).

3.2.3.1. Modelo de regresión en la media

La heterogeneidad ambiental explorada por Los híbridos consideradas 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 del 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 la Híbrido i tiene una respuesta mayor al promedio (a mayor calidad ambiental, mayor rendimiento), en cambio si $\beta_i < 1$, entonces la Híbrido responde menos.

3.2.4. Software

Los datos fueron procesados utilizando el software estadístico R versión 3.5.1 (R Core Team, 2018) y los paquetes nlme (Pinheiro et al., 2018), emmeans (Lenth, 2018), y tidyverse (Wickham, 2017)

4. Resultados

4.1. Estadísticas descriptivas

En la Tabla 4 se muestran los rendimientos promedio por localidad del híbrido utilizado como *checks*. La respuesta del *check* fue más estable dentro de la localidad Arroyo Ceibal lo cual indicaría una mayor homogeneidad de las condiciones experimentales dentro de estas localidades. En el caso de Margarita, el mayor CV obtenido para LT 722 VT3PRO se relaciona con el rendimiento de la parcela 12 cuyo rendimiento fue notablemente menor al resto.

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

Localidad	control	media	CV
Arroyo Ceibal	LT 722 VT3PRO	1970	10
Margarita	LT 722 VT3PRO	2862	25

En la Tabla 5 se presentan los rendimientos y CV por Híbrido y Localidad. A diferencia de lo comentado para el control, la variabilidad dentro de la localidad Arroyo Ceibal fue mayor a la observada para Margarita (CV = 15,1) lo cual indicaría que el comportamiento de los materiales fue relativamente similar en esa localidad. Por otro lado, el nivel de variabilidad de los híbridos a través de los ambientes fue heterogéneo pero con niveles altos de variabilidad en algunos casos. Aproximadamente el 50 % de los híbridos tuvo CV entre 22 y 46 %. Cabe considerar que estas estimaciones están basadas en $n = 2$.

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

	Arroyo Ceibal	Margarita	media	CV
ACRUX PW	2884	3962	3423	22
NEXT 22.6 PW	2579	4252	3415	35
SY 860 VIPTERA3	2569	4034	3301	31
P2089 VYHR	2542	4058	3300	32
CSX 169410 PW (EXP)	2920	3521	3220	13
ACIS PW	2108	4130	3119	46
SRM E 1704 VIPTERA3 (EXP)	3024	3189	3106	4
LT 721 VT3PRO	2168	3937	3053	41
AX 7784 VT3PRO	2332	3672	3002	32
SRM 553 VT3PRO	1956	4034	2995	49
DK 72-20 VT3PRO	2260	3516	2888	31
AX 7822 CL VT3PRO	2422	3245	2833	21
DK 77-10 VT3PRO	1356	4226	2791	73
DK 73-10 VT3PRO	1523	3745	2634	60
DOW 507 PW	1815	3436	2626	44
LG 30775 VT3PRO	1309	3841	2575	70
AX 7917 VT3PRO	2358	2706	2532	10
SY 126 VIPTERA3	1674	3382	2528	48
LT 722 VT3PRO	1970	2862	2416	26
DK 78-20 VT3PRO	1918	2236	2077	11
media	2184	3599	2892	35
CV	23	15	13	55

La Figura 3 muestra los rendimientos medios por localidad y el rendimiento medio de la campaña (promedio de las dos localidades) con línea continua. Se observa un ligero mayor potencial de rendimiento Margarita ($\bar{Y} = 3599$, $CV = 15$) mientras que en Arroyo Ceibal la respuesta de los híbridos fue algo más variable ($CV = 23$).

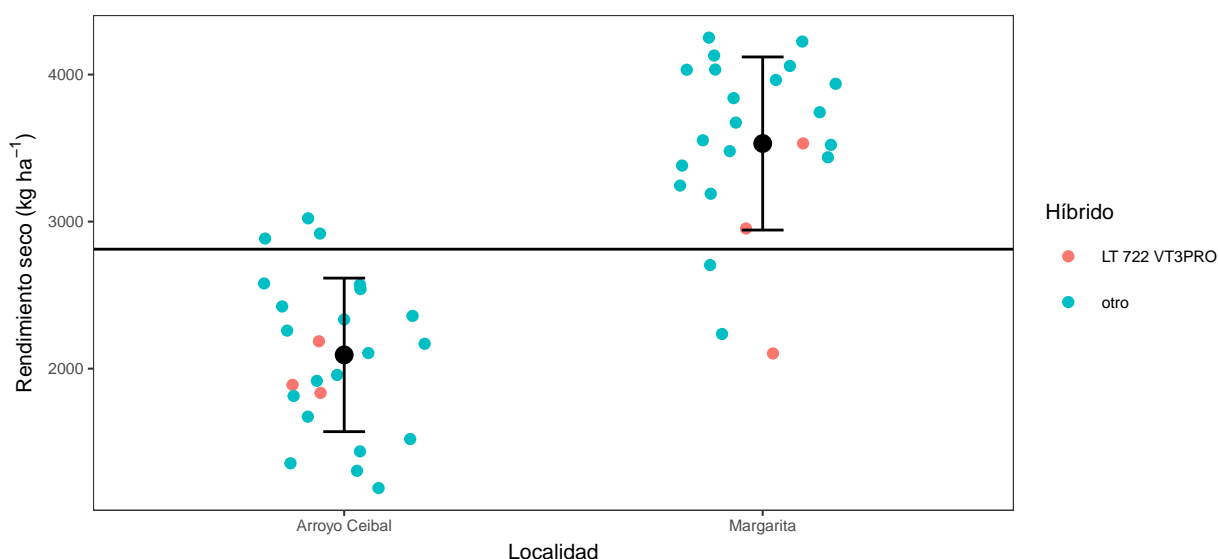


Figura 2: Rendimiento seco medio y desvío estándar por Localidad

En la Figura 4 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. Mientras que algunos híbridos presentaron comportamiento similar

en ambos ambientes (e.g. SRM E 1704 VIPTERA3 (EXP)), la mayoría presentó diferencias entre localidades.

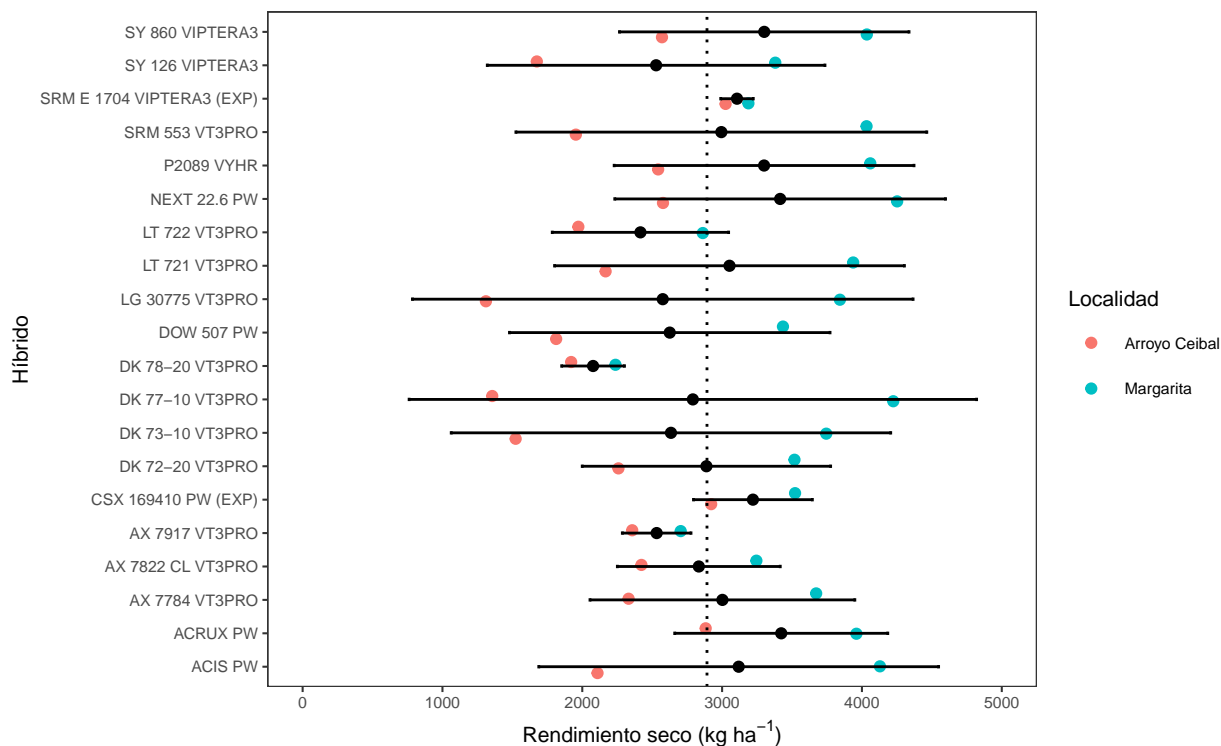


Figura 3: Rendimientos medios y desviación estándar de los híbridos

La Figura 5 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 2017/18.

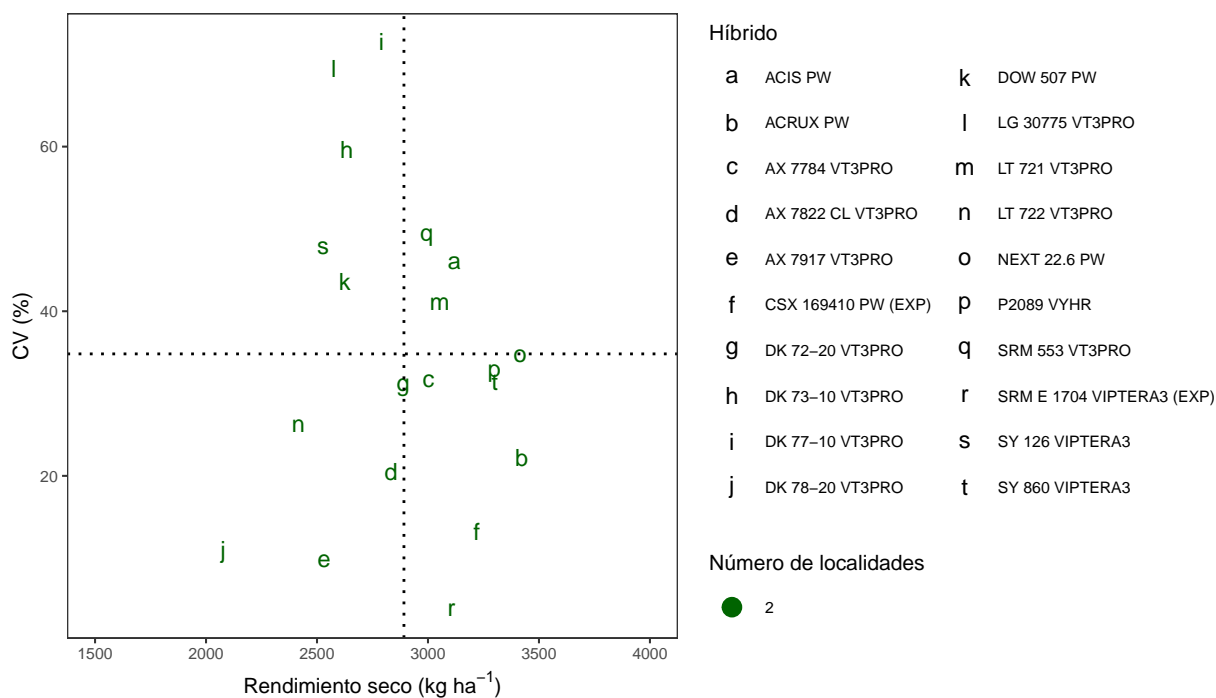


Figura 4: Rendimiento seco medio (en kg/ha) y CV (%) de los híbridos evaluados en la Campaña 2017/18

Tomando el rendimiento y CV medios de la red (líneas punteadas), se observa que los híbridos se diferenciaron por su estabilidad principalmente: el grupo de las más estables (i.e. menos diferencia entre localidades) se compone de SRM E 1704 VIPTERA3 (EXP), AX 7917 VT3PRO, DK 78-20 VT3PRO y CSX 169410 PW (EXP).

4.2. Diferencias entre híbridos

No se detectaron diferencias de rendimiento en la localidad Margarita ($p = 0.3734855$). En cambio dentro de la localidad Arroyo Ceibal hubo diferencias de respuesta ($p = 0.0076483$). A continuación la tabla resumen de las diferencias encontradas en Arroyo Ceibal

Tabla 6: Rendimientos intervalos de confianza 95 % ajustados por el modelo

	Híbrido	media	EE	gl	LI95	LS95	grupo
9	ACRUX PW	3116	140	4	2728	3504	1
12	SRM E 1704 VIPTERA3 (EXP)	3080	140	4	2692	3468	1
8	CSX 169410 PW (EXP)	2975	140	4	2587	3364	12
19	NEXT 22.6 PW	2810	140	4	2422	3198	12
14	SY 860 VIPTERA3	2625	140	4	2237	3013	123
10	P2089 VYHR	2598	140	4	2209	2986	123
17	AX 7917 VT3PRO	2590	140	4	2202	2978	123
11	DK 72-20 VT3PRO	2491	140	4	2103	2879	1234
13	AX 7822 CL VT3PRO	2477	140	4	2089	2865	1234
1	AX 7784 VT3PRO	2388	140	4	2000	2776	1234
3	ACIS PW	2339	140	4	1951	2727	1234
4	LT 721 VT3PRO	2224	140	4	1836	2612	1234
7	DOW 507 PW	2047	140	4	1658	2435	1234
5	SRM 553 VT3PRO	2011	140	4	1623	2399	1234
16	DK 78-20 VT3PRO	1974	140	4	1586	2362	1234
20	LT 722 VT3PRO	1970	81	4	1746	2194	234
15	SY 126 VIPTERA3	1906	140	4	1518	2294	1234
6	DK 73-10 VT3PRO	1754	140	4	1366	2143	234
18	LG 30775 VT3PRO	1482	81	4	1258	1707	4
2	DK 77-10 VT3PRO	1412	140	4	1023	1800	34

En este caso los híbridos ACRUX PW y SRM E 1704 VIPTERA3 (EXP) no difieren entre si pero se diferenciaron de SY 126 VIPTERA3, DK 73-10 VT3PRO, LG 30775 VT3PRO y DK 77-10 VT3PRO. De mismo modo CSX 169410 PW (EXP) y NEXT 22.6 PW se diferenciaron de LG 30775 VT3PRO y DK 77-10 VT3PRO. Finalmente SY 860 VIPTERA3, P2089 VYHR y AX 7917 VT3PRO se diferencian de DK 77-10 VT3PRO. Se observan diferencias significativas entre la Híbrido SY 7x1 IPR0 que tuvo menor desempeño y Los híbridos SY 6x8 IPR0, AW 6410 IPR0, AW 6210 IPR0, CZ 7905 IPR0 y CZ 6505. Cabe aclarar que, a excepción de LT 722 VT3PRO y LG 30775 VT3PRO, las estimaciones de los rendimientos medios en estas provienen de franjas sin réplica.

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. Los datos no permiten evaluar la significancia estadística del modelo de regresión estimado. 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).

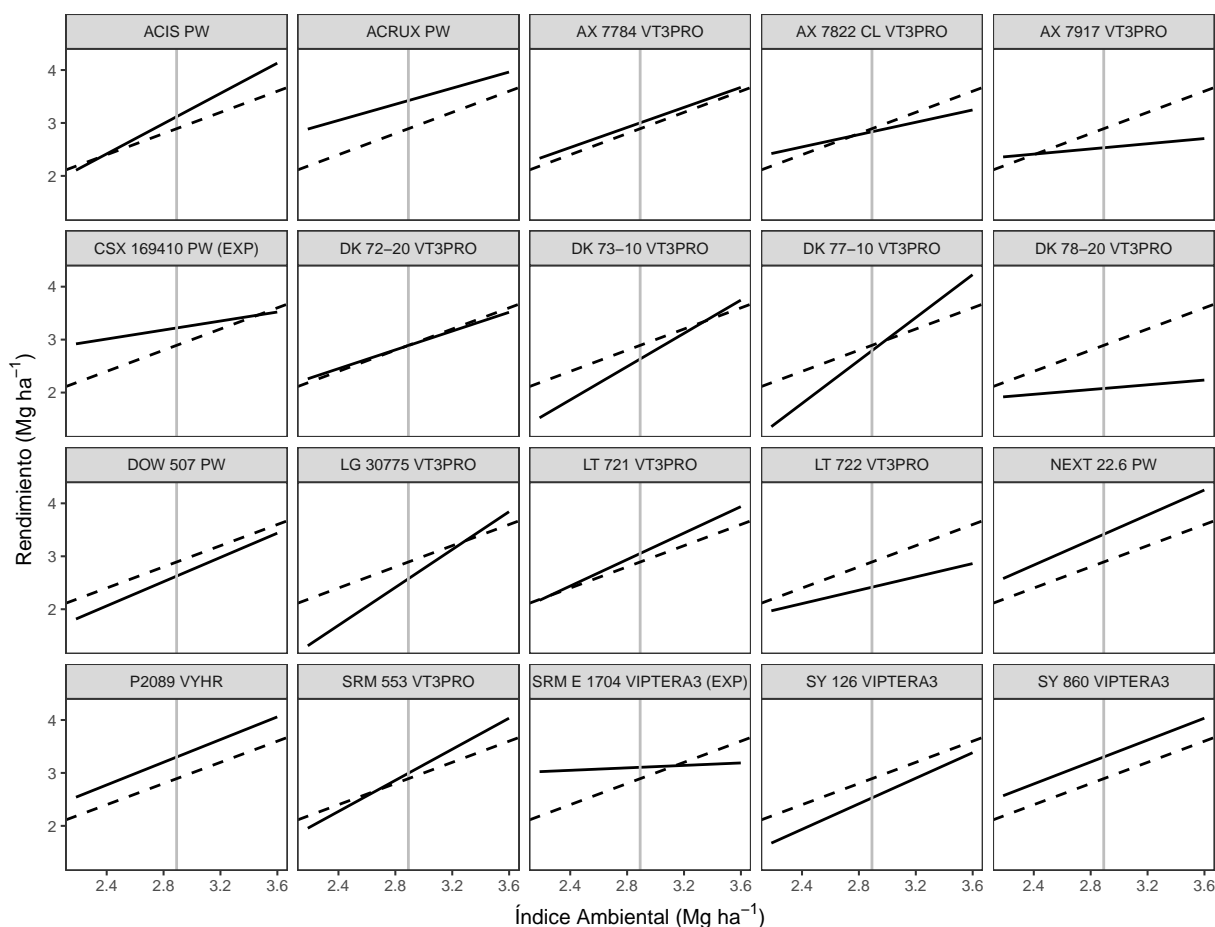


Figura 5: Respuesta diferencial de cada Híbrido a los cambios del IA

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 $\beta_i > 1$, la 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 la 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**.

Si bien no se puede evaluar la diferencias entre los coeficientes, a modo descriptivo se podría agrupar Los híbridos según la norma de respuesta en los siguientes grupos:

- ACIS PW, DK 73-10 VT3PRO, DK 77-10 VT3PRO, LG 30775 VT3PRO, SRM 553 VT3PRO. Estos materiales mostraron mayor respuesta ante aumentos del IA.
- ACRUX PW, NEXT 22.6 PW, P2089 VYHR, SY 860 VIPTERA3. Estos materiales mostraron una norma de reacción similar al promedio pero con rendimientos mayores en todo el rango de IA.
- AX 7784 VT3PRO, DK 72-20 VT3PRO, LT 721 VT3PRO. Estos materiales mostraron una norma de reacción similar al promedio con rendimientos similares al promedio en todo el rango de IA.
- SY 126 VIPTERA3, LT 722 VT3PRO, DOW 507 PW. Estos materiales mostraron una norma de reacción similar al promedio pero con rendimientos mayores en todo el rango de IA.
- AX 7917 VT3PRO, CSX 169410 PW (EXP), DK 78-20 VT3PRO, SRM E 1704 VIPTERA3 (EXP), AX 7822 CL VT3PRO. Híbridos con respuesta similar en ambos ambientes.

5. Consideraciones finales

En general se observó una moderada alta variabilidad de los rendimientos de cada híbrido a través de las distintas localidades evaluadas y moderada a baja heterogeneidad de respuesta dentro de cada localidad. Al considerar los datos por localidad se detectaron diferencias entre algunos híbridos. Cabe aclarar que las estimaciones de los rendimientos medios en estas provienen de franjas sin réplica.

El estudio de la interacción **GA** mediante el método de regresión permitió a modo descriptivo visualizar algunos patrones para Los híbridos que estuvieron presentes en ambos ensayos, diferenciándose algunas con alta estabilidad y otras con mayor sensibilidad a la norma de reacción promedio.

6. Agradecimientos

- A las Empresas Nidera S.A., Dow Agrosiences S.A, Monsanto Argentina S.A.I.C., La Tijereta, Syngenta S.A., Alianza Semillas S.A., Limagrain, Pioneer, Sursem, por participar año tras año en los Históricos ECR de la Región.
- A las empresas CREA La Lonja S.R.L. y Vicen Agro S.A. de la Región Norte de Santa Fe, por dedicar tiempo, espacio y personal para poder llevar adelante este tipo de ensayos.

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 and R Core Team (2018). nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-131.1, <URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>>.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Russell Lenth (2018). emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.1.2. <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.