

Informe de Resultados Red Multiambiental de Evaluación de Híbridos de Girasol*

Comisión de Agricultura CREA - Región Norte de Santa Fe

Campaña 2018/19

Índice

1. Introducción	2
2. Objetivos	2
3. Metodología	2
3.1. Sitios experimentales	2
3.2. Análisis estadístico	4
3.2.1. Corrección por materia grasa	4
3.2.2. Estadísticas descriptivas	4
3.2.3. Diferencias de rendimiento en la Red	4
3.2.4. Análisis interacción GA	5
3.2.5. Software	6
4. Resultados	6
4.1. Ajuste rendimientos	6
4.2. Estadísticas descriptivas	6
4.3. Diferencias entre híbridos	9
4.4. Interacción GA	11
4.4.1. Modelo de regresión sobre la media	11
4.4.2. Modelo GGE	12
5. Consideraciones finales	14
6. Agradecimientos	14
7. Bibliografía	15
8. Anexo	16

*Informe elaborado por el Servicio de Estadística Aplicada de la FCA-UNL.

1. Introducción

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 girasol es el resultado de la elección de los materiales más aptos para cada ambiente.

2. Objetivos

- Analizar estadísticamente los datos de rendimiento en grano y materia grasa, de los híbridos de girasol evaluados en la Red CREA RNSF de Ensayos Multiambientales durante la campaña 2018/19.
- Comparar los rendimientos y materia grasa 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 2018/19 se llevaron adelante ensayos comparativos de rendimiento de híbridos de girasol en 3 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	Laura Dalla Fontana
2	Lanteri	Villa Ocampo	Hilario Paulim
3	Margarita	Margarita	Vicen Agro S.R.L

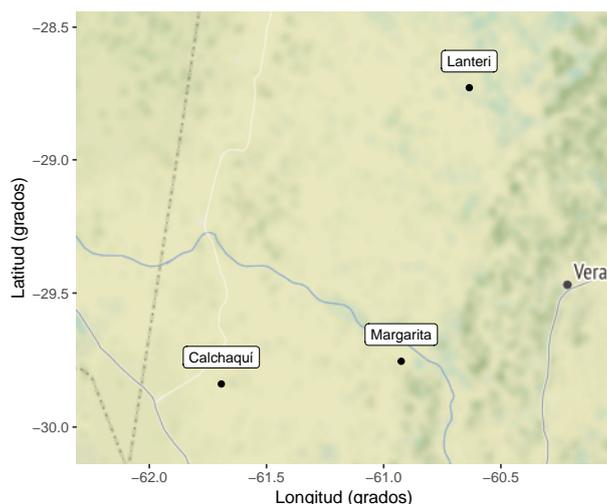


Figura 1: Distribución espacial de las localidades incluidas en la campaña 2018/19

En cada sitio se establecieron ensayos comparativos de rendimiento (ECR) utilizando un diseño experimental sin réplicas con utilización de controles sistemáticos (Kempton, 1997). Los materiales fueron sembrados con espaciamento entre surco (EES) de 52 cm en franjas de entre 3.64 y 6.76 m de ancho por 300 y 420 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 y datos de rendimiento y materia grasa del lote

ID	Localidad	Siembra	Densidad	EES	Cosecha	N	P
1	Calchaquí	05/09/2018	2.6	0.52	25/01/2019	70	
2	Lanteri	14/08/2018	2.4	0.52	26/12/2018	80	
3	Margarita	09/08/2018	2.8	0.52	23/01/2019	40	80

Los tratamientos evaluados fueron 12 híbridos los cuales se presentan en la Tabla 3 junto al número de localidades en las que fueron evaluados.

Tabla 3: Híbridos evaluados y localidades en las que fueron incluidos

Semillero	Híbrido	Localidades
Advanta	ADV 5500	1, 2, 3
Argenetics	ARGENSOL 20	1, 2, 3
Argenetics	ARGENSOL 72 CL	1, 2, 3
Limagrain	LG 50750 CL	1, 2, 3
Nidera	PARAISO 1600 CL	1, 2, 3
Nuseed	NUSOL 4170 CL	1, 2, 3
Syngenta	SY 3825 (PRODUCTOR)	3
Syngenta	SY 3939	1, 2, 3
Syngenta	SY 3970 CL	1, 2, 3
Syngenta	SY 4046	2
Syngenta	SYN 4066	1, 3
Tobin	TOB 3045	1, 2, 3

En todas las localidades el híbrido Sy 3970 CL actuaron como híbridos de referencia o checks y contó con más de una réplica. Por otro lado, los híbridos SY 4046 y SY 3825 CL solamente estuvieron presentes en una localidad por lo que fueron omitidos en el análisis.

3.2. Análisis estadístico

3.2.1. Corrección por materia grasa

Los rendimientos secos observados se corrigieron por el % de materia grasa mediante la siguiente expresión:

$$y^* = \left(\frac{2(MG - 42)}{100} + 1 \right) \times y$$

donde: y y y^* son el rendimiento real y corregido por materia grasa (MG)

3.2.2. Estadísticas descriptivas

Se calcularon estadísticas de resumen y gráficos descriptivos por híbrido y localidad para las variables respuesta rendimiento seco, materia grasa y rendimiento seco corregido por materia grasa, expresados en kg ha^{-1} y % respectivamente. Las determinaciones de materia grasa se realizaron por el método de resonancia magnética (NMR) utilizando un equipo SPILNOCK.

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 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 del híbrido i y s_{y_i} es desvío estándar de los rendimientos del híbrido i a través de las localidades:

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

3.2.3. Diferencias de rendimiento en la Red

3.2.3.1. Ajuste rendimientos por controles

La información proveniente de las franjas control repetidas o *checks* (Sy 3970 CL) 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.

3.2.3.2. 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 controles replicados (Piepho et al., 2012). La interacción híbrido-localidad fue estimada utilizando la información de los controles o *checks* los cuales 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 %.

3.2.4. Análisis interacción GA

Para explorar los patrones de interacción **GA** se utilizaron tres procedimientos alternativos: (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)

3.2.4.1. Modelo de regresión en la media (Finlay-Wilkinson)

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.

3.2.4.2. 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 (Yan y Kang, 2002). Se ajustó 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.

3.2.5. Software

Los datos fueron procesados utilizando el software estadístico R versión 3.5.0 (R Core Team, 2018) y los paquetes *nlme* (Pinheiro et al., 2018), *emmeans* (Lenth, 2018), *GGEbiplot* (Dumble, 2017) y *tidyverse* (Wickham, 2017)

4. Resultados

4.1. Ajuste rendimientos

La siguiente figura muestra la relación entre los rendimientos reales observados y los obtenidos mediante a aplicación de corrección por variación de los *checks*. En la localidad de Lanteri la corrección por los *checks* aumentó sistemáticamente los rendimientos de todas las parcelas. En las localidades restantes la relación entre el rendimiento observado y el ajustado fue cercana a la recta 1:1. No obstante, en margarita se observó mayor dispersión entorno a dicha recta.

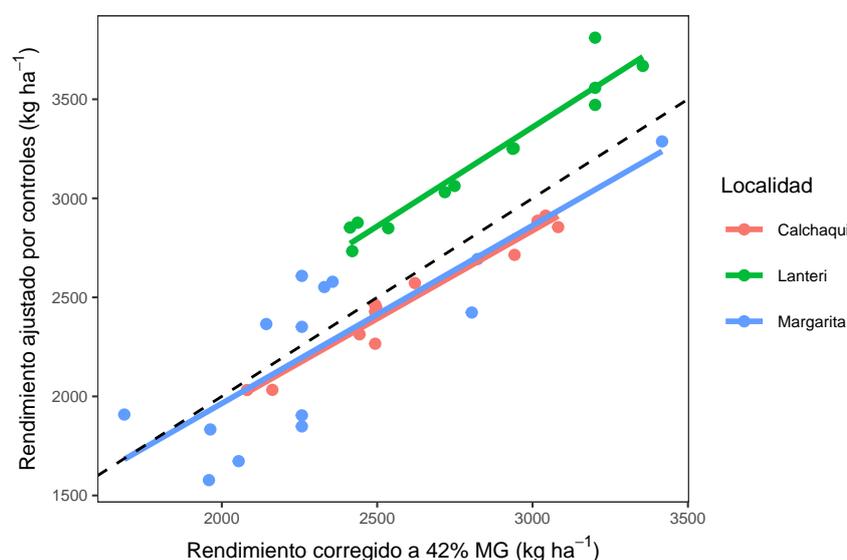


Figura 2: Relación entre rendimientos observados y ajustados según controles

4.2. Estadísticas descriptivas

En la Tabla 4 se muestran los rendimientos promedio por localidad de los híbridos utilizados como *checks*. Se observa que en Calchaquí y Lanteri, el híbrido SY 3970 CL mostro baja variación comparada con la observada en Margarita lo cual reflejaría que la variabilidad de las condiciones experimentales en esta última localidad fue mayor.

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

Localidad	control	media	CV
Calchaqui	control	2385	4
Lanteri	control	3614	5
Margarita	control	2178	17

En la Tabla 5 se presentan los rendimientos y CV por Híbrido y Localidad. En la localidad Margarita la respuesta promedio (*media* = 2279) fue inferior a la media de la Red con una mayor variabilidad de respuestas (*CV* = 22,3). En cambio, para las localidades restantes las respuestas de los materiales mostró menor dispersión siendo casi la mitad. Por otro lado, el nivel de variabilidad de los híbridos a través de los ambientes fue moderado a bajo. El 50 % de los híbridos mostró CV inferiores a 22 %.

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

	Calchaqui	Lanteri	Margarita	media	CV
SY 4046		3250		3250	
ADV 5500	2448	3668	2694	2937	22
TOB 3045	2033	3253	3287	2858	25
SY 3970 CL	2385	3614	2178	2726	28
LG 50750 CL	2887	2849	2423	2720	10
ARGENSOL 72 CL	2855	2733	2552	2713	6
SY 3939	2313	3031	2579	2641	14
NUSOL 4170 CL	2912	2853	1908	2558	22
PARAISO 1600 CL	2714	2877	1673	2422	27
ARGENSOL 20	2572	3062	1577	2404	32
SY 3825 (PRODUCTOR)			2365	2365	
SYN 4066	2032		1833	1933	7
media	2515	3119	2279	2627	19
CV	13	10	22	13	49

La Figura 3 muestran los rendimientos medios por localidad (círculos negros) y el rendimiento medio de la campaña (promedio de las tres localidades) con línea continua. Se observa mayor potencial de rendimiento y menor variabilidad en Lanteri ($\bar{Y} = 3119$, $CV = 10,4$) mientras que en Margarita la respuesta de los híbridos fue más variable ($CV = 22,3$). La variabilidad de los controles (materiales replicados) en las localidades Calchaqui y Lanteri fue menor que en Margarita.

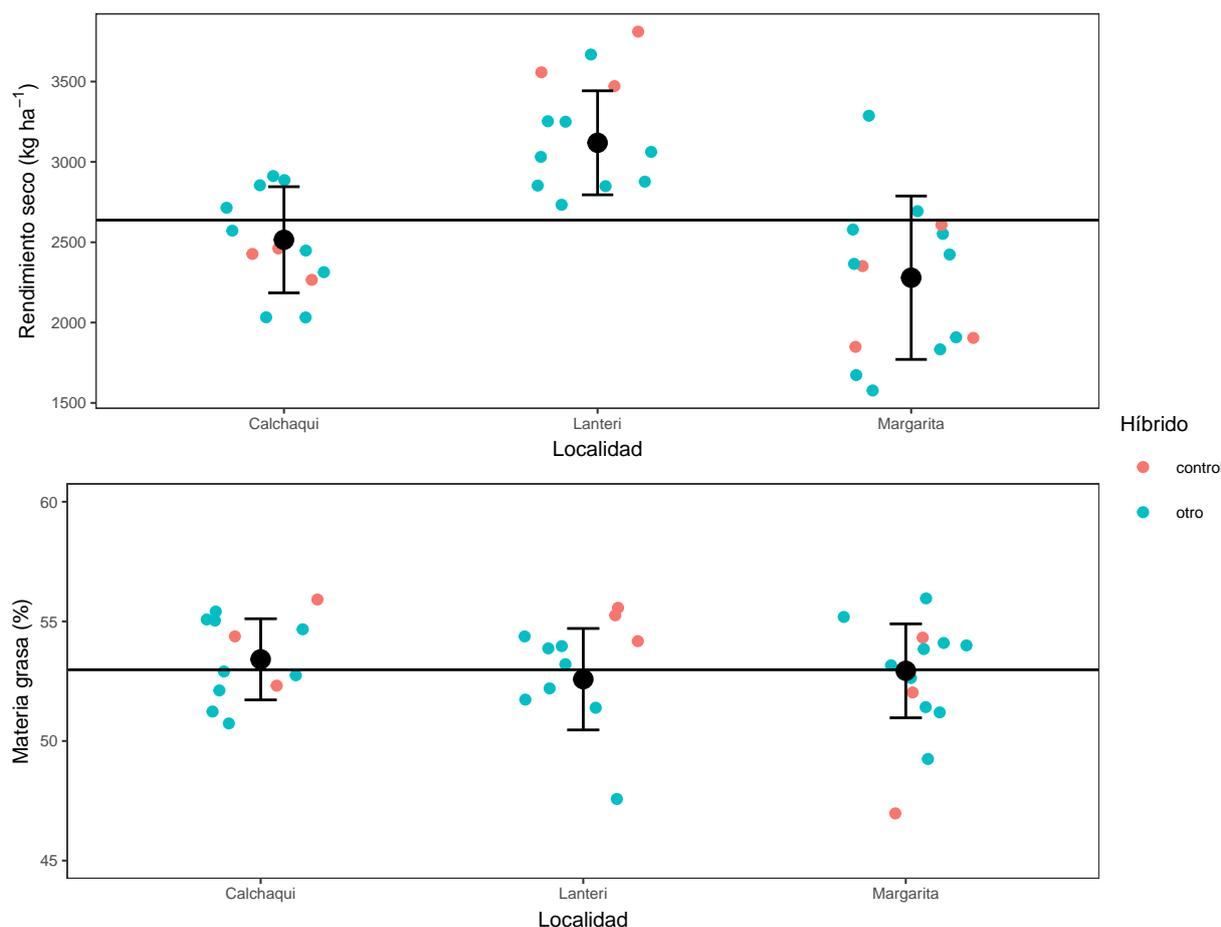


Figura 3: Rendimiento seco medio corregido (kg/ha) y materia grasa (%) por Localidad

En la Figura 4 se presentan los rendimientos medios ajustados y porcentajes de materia grasa 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.

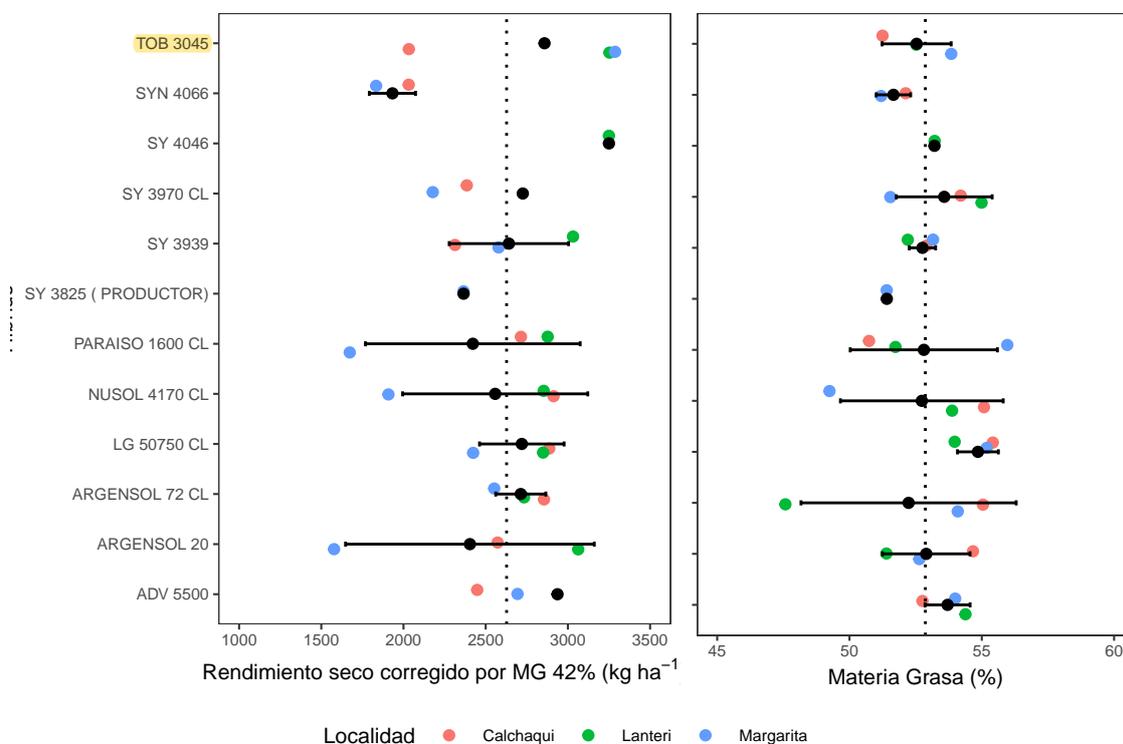


Figura 4: Rendimientos medios (kg/ha) y materia grasa (%) de los híbridos

En general la variación observada en los rendimientos fue mayor que la registrada para los porcentajes de materia grasa. La figura 5 muestra la relación entre los valores de materia grasa y rendimientos la cual no fue estadísticamente significativa ($p = 0.2994$). La Figura 6 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 2018/19.

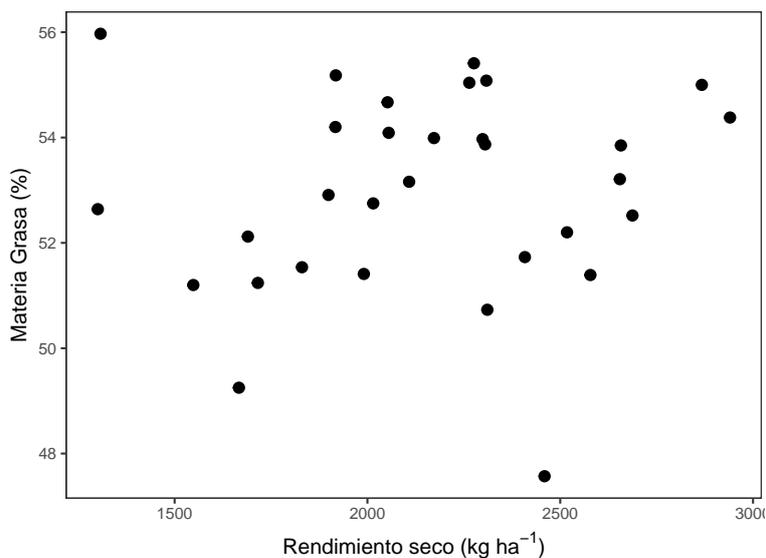


Figura 5: Relación entre los valores de materia grasa (%) y el rendimiento (en kg/ha)

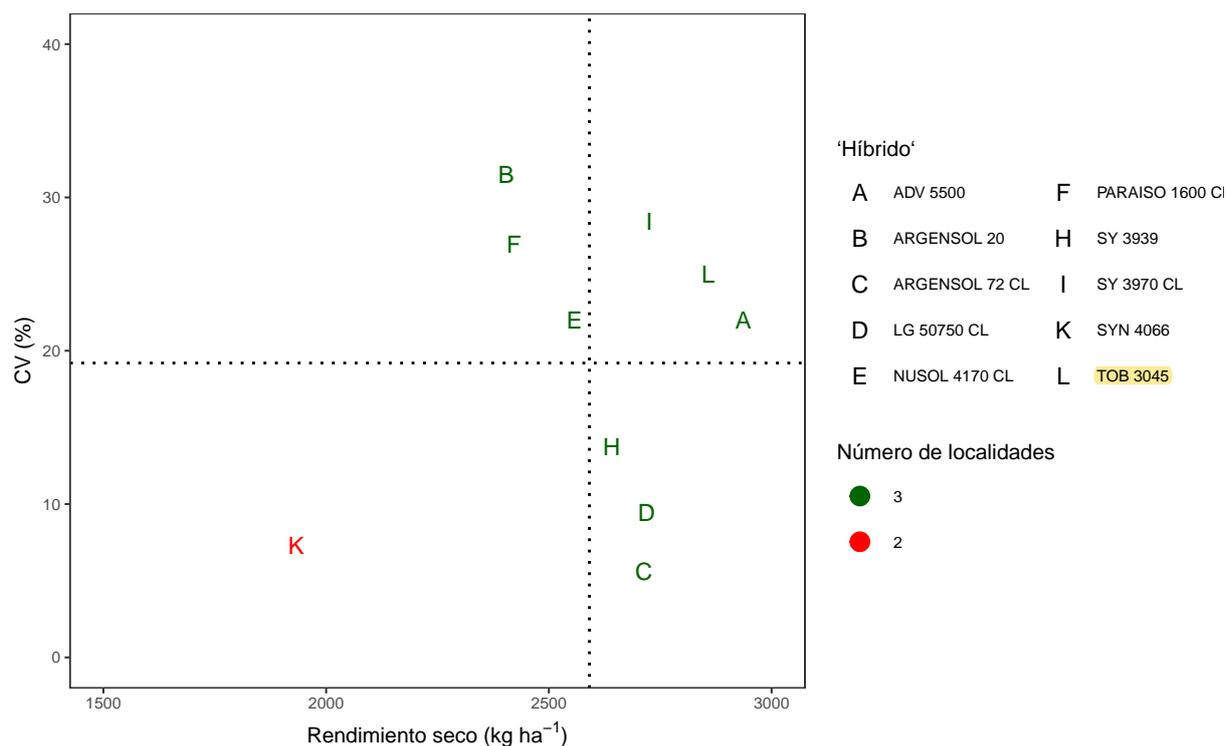


Figura 6: Rendimiento seco medio corregido y CV de los híbridos evaluados en la Campaña 2018/19

A excepción del híbrido SYN 4066 que estuvo replicado en dos localidades y presentó rendimientos menores a 2000 kg/ha, el resto de los híbridos se diferenciaron principalmente por su nivel de variabilidad entre localidades. Tomando el rendimiento y CV medios de la red (líneas punteadas), se destacan los materiales SY 3939, LG 50750 CL y ARGENSOL 72 CL por su estabilidad.

4.3. Diferencias entre híbridos

Al comparar los resultados de modelos con y sin interacción, las diferencias a favor de un modelo con interacción son estadísticamente significativas respecto a un modelo más parsimonioso, i.e sin interacción (LRT = 3.91, $p = 0.0479$). 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 para cada híbrido

	gl num	gl den	F	valor-p
(Intercept)	1	17	122.1407903	0.0000000
Híbrido	11	17	0.6135503	0.7934365

Las diferencias de rendimiento entre híbridos considerando todas las localidades de la Red no fueron estadísticamente significativas ($p = 0.7934$). Los rendimientos medios, errores estándar e intervalos de confianza 95 % ajustados por la variabilidad entre localidades se muestran en la Figura 7. La amplitud de los IC_{95} responde a que el espacio de inferencia es toda la región de donde proviene la muestra de las tres localidades analizadas y la precisión alcanzada según el número de réplicas. En la Tabla 7 se listan los valores medios ajustados, errores estándar e intervalos de confianza de los rendimientos medios de cada híbrido.

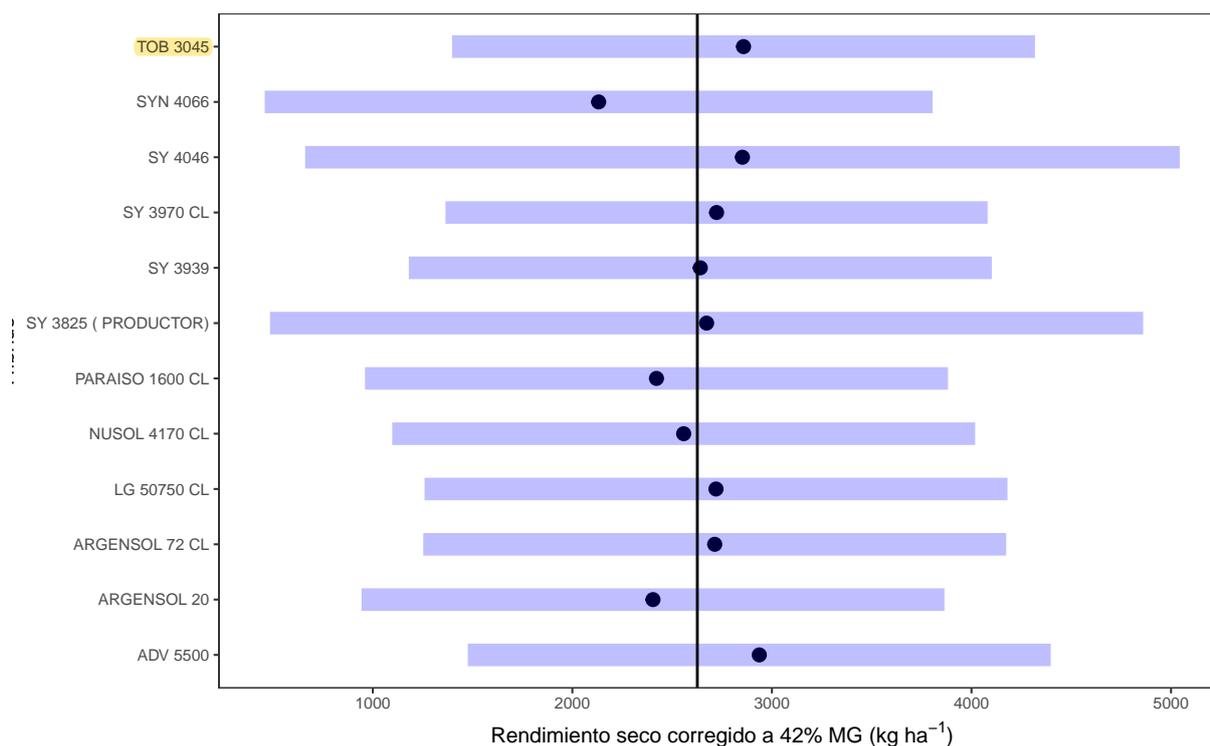


Figura 7: Intervalos de confianza 95 % de las medias ajustadas por el modelo-mixto para cada híbrido

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

Híbrido	Rend. medio	Error estándar	gl	LI IC95	LI IC95	grupo
ADV 5500	2937	339	2	1476	4397	1
TOB 3045	2858	339	2	1397	4318	1
SY 4046	2852	509	2	661	5043	1
SY 3970 CL	2723	316	2	1364	4081	1
LG 50750 CL	2720	339	2	1259	4180	1
ARGENSOL 72 CL	2713	339	2	1253	4174	1
SY 3825 (PRODUCTOR)	2673	508	2	485	4860	1
SY 3939	2641	339	2	1180	4102	1
NUSOL 4170 CL	2558	339	2	1097	4018	1
PARAISO 1600 CL	2422	339	2	961	3882	1
ARGENSOL 20	2404	339	2	943	3865	1
SYN 4066	2132	389	2	458	3805	1

Al igual que la Figura 3, se observa que la variabilidad de los rendimientos medios ajustados en torno a la media general del experimento es relativamente baja. En cambio, la amplitud de los IC_{95} responde a que el espacio de inferencia es toda la región de donde proviene la muestra de localidades analizadas y la precisión alcanzada según el número de localidades

En cuanto al efecto de Localidad en la variabilidad de los resultados, el análisis de los componentes de la varianza indica que un 42 % de la variabilidad total fue debida a la variación entre las localidades y un 40 % debida a interacción.

4.4. Interacción GA

4.4.1. 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) para modelar la interacción **GA**. La siguiente tabla muestra el ANOVA correspondiente al modelo de regresión:

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

	gl	SC	CM	F	Valor p
Localidad	2	3875741	1937870.4	6.9534736	0.0177841
Híbrido	11	1275793	115981.1	0.4161639	0.9105047
Híbrido:IA	9	1006401	111822.4	0.4012414	0.9021974
Residuals	8	2229528	278691.0		

Este análisis no detectó heterogeneidad en las pendientes ($p = 0.9022$) lo cual indicaría que las normas de reacción no difieren significativamente entre híbridos. A continuación se resumen las pendientes (coeficientes de regresión β_i), errores estándar (EE) y límites del IC_{95} (LI, LS) para los distintos híbridos.

Tabla 9: Tabla de coeficientes del modelo de regresión para la interacción GxA

Híbrido	Pendiente	EE	gl	LI	LS
ARGENSOL 72 CL	0.1333980	0.8134977	9	-1.7068617	1.973658
TOB 3045	0.3655519	0.8134977	9	-1.4747078	2.205812
LG 50750 CL	0.3945281	0.8134977	9	-1.4457316	2.234788
SY 3939	0.6669849	0.8134977	9	-1.1732748	2.507245
SYN 4066	0.8424404	2.9855800	9	-5.9114107	7.596292
NUSOL 4170 CL	0.8828982	0.8134977	9	-0.9573615	2.723158
PARAISO 1600 CL	1.2036631	0.8134977	9	-0.6365966	3.043923
ADV 5500	1.3304325	0.8134977	9	-0.5098272	3.170692
ARGENSOL 20	1.5796236	0.8134977	9	-0.2606361	3.419883
SY 3970 CL	1.7733982	0.8134977	9	-0.0668615	3.613658
SY 3825 (PRODUCTOR)					
SY 4046					

La tabla anterior muestra que si bien se observó una variación en los coeficientes estimados para cada híbrido, los IC_{95} para dichas estimaciones incluyen al 1, por lo tanto la norma de reacción de cada híbrido es similar a la del índice ambiental o respuesta promedio (Figura 8). Cabe aclarar que estas estimaciones son poco precisas debido a la cantidad de observaciones por híbrido.

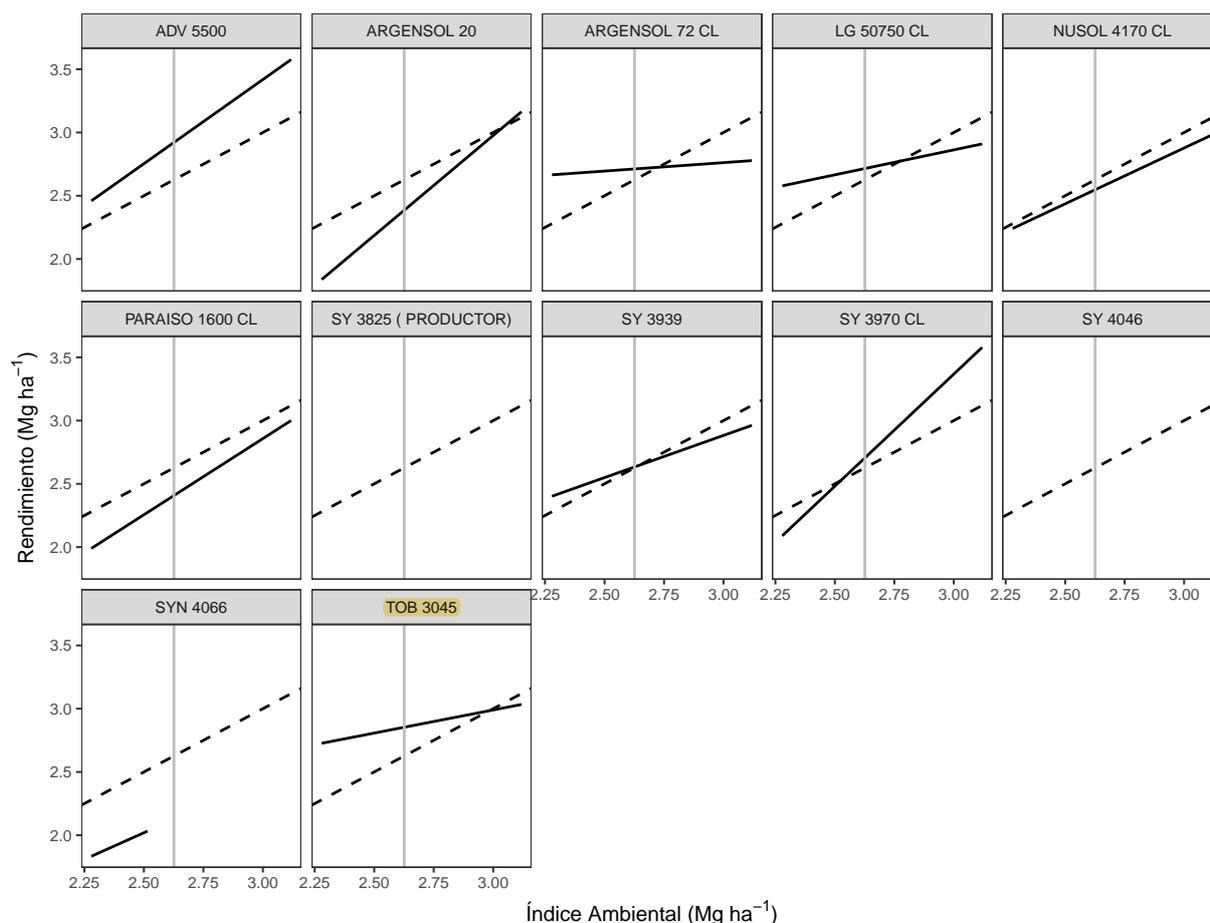


Figura 8: Respuesta diferencial de cada híbrido a los cambios del IA

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**.

Si bien las diferencias entre los coeficientes no resultaron estadísticamente significativas, los híbridos se podrían agrupar de manera aproximada según la norma de respuesta en los siguientes grupos:

- Sensibilidad y rendimiento similar a la norma de reacción promedio: NUSOL 4170 CL y SY 3939.
- Sensibilidad similar y rendimiento inferior a la norma de reacción promedio: Paraiso 1600 CL, Argenso1 20
- Sensibilidad similar pero rendimientos superiores: Adv 5500
- Menor sensibilidad: Agenso1 72 CL, LG 50750 CL

4.4.2. Modelo GGE

Para este análisis sólo se utilizó la información de los híbridos que estuvieron representados en todas las localidades y los promedios obtenidos de los controles replicados, 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).

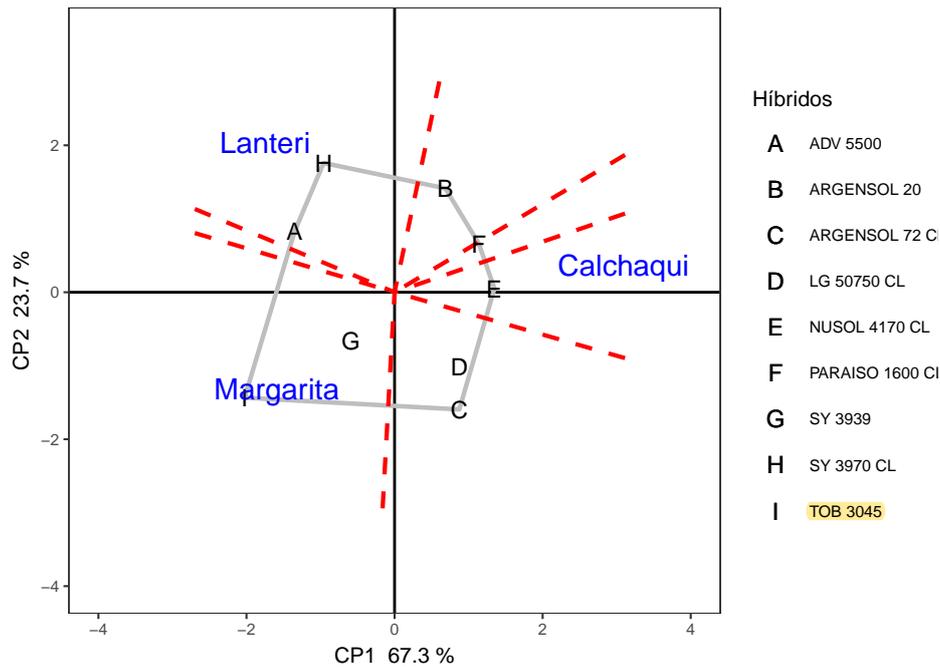


Figura 9: Análisis de mega-ambientes y genotipos ganadores modelo GGE

En dicho gráfico los ejes X e Y representan los componentes principales (CP1, y CP2) que sintetizan información genotípica y ambiental explicando aproximadamente el 100 % de la variación total ya que fueron solamente 3 localidades. 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, las 3 localidades se separan y en cada una de ellas uno de los híbridos tiene mejor desempeño. En el caso de Margarita el híbrido TOB 3045, mientras que para Lanteri que se destaca es SY 3970 CL. En Calchaqui los híbridos NUSOL 4170 CL.

La Figura 10, muestra el análisis de promedio y estabilidad o coordinación de ambiente promedio, el cual permite ordenar genotipos dentro de las tres localidades consideradas considerando la variabilidad de respuestas.

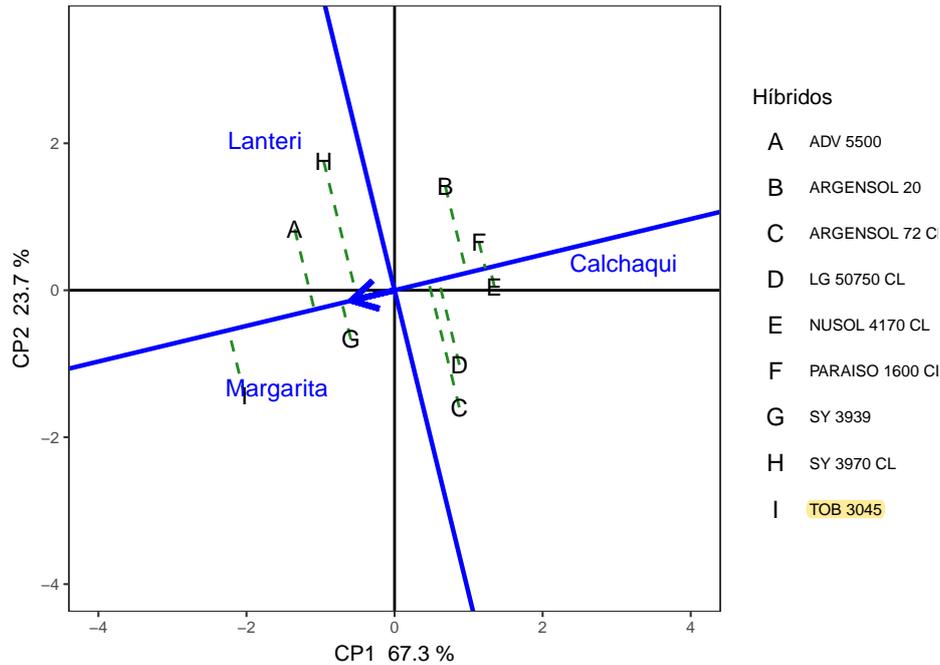


Figura 10: Biplot rendimiento medio y estabilidad para Esteban Rams-Ing. Chanourdie

La flecha indica el eje de las abscisas y representa el ambiente promedio en función de la variabilidad. 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.

El orden de los híbridos con performance por encima del promedio estaría compuesto por: Tob 3045 > Adv 5500 > Sy 3939 = Sy 3970 CL. En cuanto a la estabilidad, estos híbridos presentaron respuestas relativamente estables, a excepción de 'Sy 3970 CL y Adv 5500.

5. Consideraciones finales

Se observó una moderada a baja variabilidad de los rendimientos de cada híbrido a través de las distintas localidades evaluadas. A nivel general, considerando la variabilidad de la región de estudio no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los rendimientos de los materiales evaluados.

El estudio **GA** mediante el método de regresión no fue sensible para detectar diferencias estadísticamente significativas en las normas de reacción de los híbridos.

Finalmente, el análisis genotipo e interacción genotipo-ambiente permitió resumir y visualizar el patrón de interacción. El análisis de mega-ambientes indicaría que las 3 localidades tendrían respuestas distintas. Para un ambiente promedio el orden de los híbridos sería Tob 3045 > Adv 5500 > Sy 3939 = Sy 3970 CL, con respuestas relativamente estables.

6. Agradecimientos

- A las empresas semilleras: Limagrain, Tobin, Argenetics, Advanta, Nidera, Nuseed y Syngenta, 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.

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.

8. Anexo

Media y CV de los rendimientos (kg/ha), materia grasa (%MG) y rendimiento corregido a 42% MG (kg/ha*) por localidad

Híbrido	Localidad								
	Calchaqui			Lanteri			Margarita		
	kg/ha	%MG	kg/ha*	kg/ha	%MG	kg/ha*	kg/ha	%MG	kg/ha*
ADV 5500	2015	53	2448	2940	54	3668	2173	54	2694
ARGENSOL 20	2052	55	2572	2578	51	3062	1301	53	1577
ARGENSOL 72 CL	2264	55	2855	2459	48	2733	2055	54	2552
LG 50750 CL	2276	55	2887	2299	54	2849	1918	55	2423
NUSOL 4170 CL	2308	55	2912	2305	54	2853	1667	49	1908
PARAISO 1600 CL	2311	51	2714	2408	52	2877	1308	56	1673
SY 3825 (PRODUCTOR)							1991	51	2365
SY 3939	1899	53	2313	2518	52	3031	2108	53	2579
SY 3970 CL	1917	54	2385	2867	55	3614	1830	52	2178
SY 4046				2655	53	3250			
SYN 4066	1690	52	2032				1548	51	1833
TOB 3045	1716	51	2033	2687	53	3253	2657	54	3287
media	2045	53	2515	2572	53	3119	1869	53	2279
CV	12	3	13	8	4	10	21	4	22