

# Informe de Resultados Red Multiambiental de Evaluación de Cultivares de Soja

Comisión de Agricultura CREA - Región Norte de Santa Fe

Campaña 2019/20



# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>3. Metodología</b>	<b>2</b>
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 . . . . .	6
<b>4. Resultados</b>	<b>6</b>
4.1. Estadísticas descriptivas . . . . .	6
4.2. Diferencias entre variedades . . . . .	9
4.2.1. Modelo global . . . . .	9
4.2.2. Modelo por localidad . . . . .	10
4.3. Interacción <b>GA</b> . . . . .	11
4.3.1. Modelo de regresión sobre la media . . . . .	11
<b>5. Consideraciones finales</b>	<b>12</b>
<b>6. Agradecimientos</b>	<b>13</b>
<b>7. Bibliografía</b>	<b>13</b>

## 1. Introducción

El cultivo de soja (*Glycine max*) es el cultivo más importante de los sistemas productivos de la región y el país ya que es uno de los más rentables y las exportaciones de granos, aceites y harinas de soja constituyen la principal fuente de divisas para el país.

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

## 2. Objetivos

- Resumir los datos de rendimiento de las variedades de soja evaluadas en la Red CREA RNSF de Ensayos Multiambientales durante la campaña 2019/20.
- Analizar estadísticamente los resultados comparando los rendimientos de las variedades globalmente en toda la red.
- Comparar los rendimientos promedio de las variedades 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 variedades de soja en 4 localidades del Norte de la Provincia de Santa Fe. La localidad Vera y Pintado tuvo que ser descartada por problemas de excesos hídricos, quedando solamente 3 localidades para el análisis. 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	Margarita	Margarita	Clemar Rossi
3	Ramayon	Ramayon	Stella Agropecuaria S.A

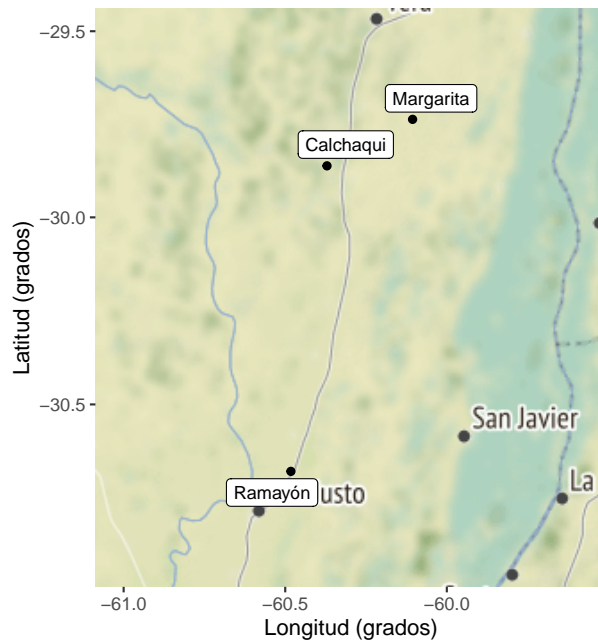


Figura 1: Distribución espacial de las localidades incluidas en la campaña 2019/20

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 4.16 y 4.16 m de ancho por 166 m de longitud. Las fechas de siembra, densidad, fertilización y fecha de cosecha de cada ensayo se detallan en la Tabla 2. En Margarita la variedades GM 8 fueron cosechadas el 08/05/2020.

Tabla 2: Características generales de los ensayos por localidad

ID	Localidad	Siembra	Densidad	EES	Fertilización (kg/ha)	Cosecha
1	Calchaqui	06/12/2019	18	0.52	Super fosfato triple ( 80 )	14/05/2020
2	Margarita	06/12/2019	18	0.52	Fosfato monoamonico al voleo ( 90 )	29/04/2020
3	Ramayon	05/12/2019	22	0.52	Mezcla 7-40-0-5 ( 80 )	13/05/2020

Los tratamientos evaluados fueron 25 variedades las cuales se presentan en la Tabla 3 junto al número de localidades en las que fueron evaluados.

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

Semillero	Variedad	Localidades
Basf Credez	CZ 5407 IPRO	1, 2, 3
Basf Credez	CZ 5907 IPRO	1, 2, 3
Basf Credez	CZ 6505 RR1	1, 2, 3
Basf Credez	CZ 6806 IPRO	1, 2, 3
Basf Credez	CZ 7905 IPRO	1, 2, 3
Bioceres	BIO 5.92 RR1 (13-175)	1, 2, 3
Bioceres	BIO 6.51 IPRO (BRS6)	1, 2, 3
Don Mario	DM 66R69 STS	1, 2, 3
Don Mario	DM 67I70 STS	1, 2, 3
Don Mario	DM 75I75	1, 2, 3
MacroSeed	60MS01 STS RR1	1, 2, 3
MacroSeed	62MS01 STS IPRO	1, 2, 3
MacroSeed	66MS01 RR1	1, 2, 3
MacroSeed	LDC 8.5 RR1	1, 2, 3

Semillero	Variedad	Localidades
Nidera	NS 6538 IPRO	1, 2, 3
Nidera	NS 8018 STS IPRO	1, 2, 3
Nidera	NS 8288 STS	1, 2, 3
NK	SY 5X1 RR1	1, 2, 3
NK	SY 7X1 IPRO	1, 2, 3
NK	SYN1561 IPRO	1, 2, 3

A excepción de la variedad NS 6859 IPRO, las variedades restantes estuvieron presentes en las 3 localidades. En cada localidad, se utilizó una variedad diferente como testigo con más de una réplica. Esta información se utilizó para explorar la variabilidad dentro de cada localidad.

## 3.2. Análisis estadístico

### 3.2.1. Estadísticas descriptivas

Se calcularon estadísticas de resumen y gráficos descriptivos por variedad y localidad para la variable respuesta rendimiento seco, expresado en  $\text{kg ha}^{-1}$  con 13.5% de humedad. El promedio de cada variedad 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 de la variedad  $i$ ,  $y_{ij}$  es el rendimiento de la variedad  $i$  en la localidad  $j$  y  $n_i$  es el número de localidades donde fue evaluada la variedad  $i$ . 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 variedad 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 la variedad  $i$  y  $s_{y_i}$  es el desvío estándar de los rendimientos la variedad  $i$  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 bajo lo cual hace que los promedios y estimaciones de la variabilidad de los rendimientos a través de los ambientes sean limitadas.

### 3.2.2. Diferencias de rendimiento

**3.2.2.1. Ajuste rendimientos por testigo** En cada localidad, la información proveniente de las franjas testigo se utilizó para explorar la tendencia espacial de los rendimientos en función de la ubicación en el experimento.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i$$

donde:  $y_i$  representa la respuesta del testigo en la parcela  $i$ ,  $X_i$  es el número de posición de la parcela en el experimento, y  $\beta_0$  y  $\beta_1$  coeficientes de regresión. En el caso de una tendencia significativa, esta información se utilizó como covariable para ajustar los rendimientos de las variedades no replicadas.

**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. Las variedades fueron considerados efectos fijos, mientras que las localidades efectos aleatorios.

$$y_{ij}^* = \mu + \tau_i + l_j + e_{ij}$$

donde:  $y_{ij}^*$  representa la respuesta la variedad  $i$  sembrada en la localidad  $j$ , corregida por efecto de la posición de la parcela;  $\mu$  es la media general de los ensayos de la red,  $\tau_i$  es efecto o diferencia la variedad  $i$  respecto a la media general del ensayo,  $l_j$  el efecto de la localidad  $j$ , y  $e_{ij}$  el error experimental asociado a la variedad  $i$  sembrada en la localidad  $j$ . Se asume que  $l_j$  como  $e_{ij}$  son independientes y tienen distribución normal con media 0 y varianzas  $\sigma_l^2$  y  $\sigma_e^2$ .

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 las variedades. Debido a que los testigos (variedades replicadas) son únicos para cada localidad, la interacción Variedad:Localidad no fue estimada (Piepho et al., 2012).

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

**3.2.2.3. Modelo por localidad** Se analizaron los rendimientos de las variedades dentro de cada localidad para determinar las diferencias de respuesta de los materiales evaluados. Las variedades fueron considerados efectos fijos. El error experimental se estimó utilizando la información de los testigos dentro de cada localidad.

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_1 X + e_{ij}$$

donde:  $y_{ij}$  representa la respuesta de la variedad  $i$  sembrada en la parcela  $j$ ;  $\mu$  es la media general de la localidad,  $\tau_i$  es efecto o diferencia la variedad  $i$  respecto a la media general del ensayo, y  $X$  es la posición de la parcela en el ensayo (covariable), y  $e_{ij}$  el error experimental asociado a la variedad  $i$  sembrada en la parcela  $j$ . Se asume que  $e_{ij}$  son independientes y tienen distribución normal con media 0 y varianzas  $\sigma_e^2$ .

Las diferencias de rendimiento entre variedades 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 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 las variedades 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 de la variedad  $i$  en el ambiente o localidad  $j$ ,  $\mu_i$  es la ordenada al origen de cada variedad,  $X_j$  el índice ambiental de la localidad  $j$ , y  $\beta_i$  la pendiente o sensibilidad de la variedad  $i$  a los cambios del IA.

Según este modelo,  $\mu_i$  representa el comportamiento de las variedades en el ambiente promedio y los coeficientes  $\beta_i$  la sensibilidad de los Variedades 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.  $\beta$  distintos para las variedades. El valor de  $\beta$  indica la sensibilidad la variedad a los cambios de calidad del ambiente. Si  $\beta_i > 1$  indica que la variedad  $i$  tiene una respuesta mayor al promedio (a mayor calidad ambiental, mayor rendimiento), en cambio si  $\beta_i < 1$ , entonces la variedad responde menos.

### 3.2.4. Software

Los datos fueron procesados utilizando el software estadístico R versión 4.0 (R Core Team, 2020) 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 las variedades utilizados como *check* o control. La menor variación se observó en Calchaqui. En el gráfico muestra el análisis de tendencia observada para las parcelas con variedades testigo en cada localidad.

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

Localidad	media	CV
Calchaqui	3675	7
Margarita	2755	12
Ramayon	4125	14

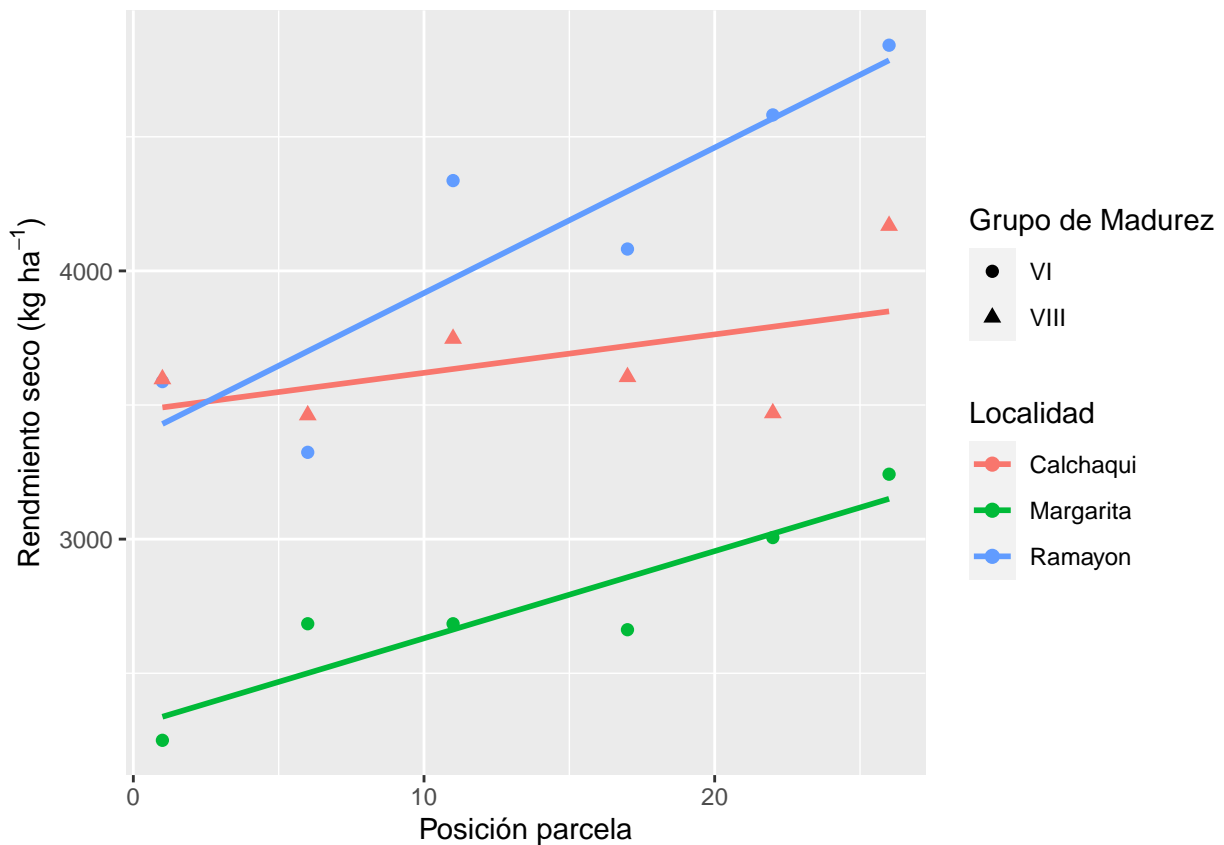


Figura 2: Relación entre el rendimiento de los testigos y la posición de la parcela en cada localidad

Los rendimientos de las parcelas con testigos muestran una patrón consistente, tanto en Ramayón ( $p = 0.0171$ ) como en Margarita ( $p = 0.0095$ ), donde los rendimientos aumentan con la posición en el ensayo. Esto indicaría que en dichas localidades las parcelas de mayor numeración exploraron un ambiente edafico superior.

En la Tabla 5 se presentan los rendimientos y CV por Variedad y Localidad. La variabilidad dentro de cada localidad, la cual indica la dispersión de los rendimientos entre las variedades, fue baja a moderada con CV

entre 7 y 15 %. Por otro lado, el nivel de variabilidad de las variedades a través de los ambientes fue moderada, aproximadamente el 50 % de las variedades tuvo CV entre 19 y 25 %.

Tabla 5: Rendimiento seco medio (sin ajustar) y coeficiente de variación por Variedad y localidad

	Calchaqui	Margarita	Ramayon	media	CV
CZ 7905 IPRO	4836	3246	4704	4262	21
DM 75I75	4293	3196	4356	3948	16
LDC 8.5 RR1	3447	3423	3932	3601	8
CZ 6505 RR1	3882	2819	3839	3513	17
NS 6538 IPRO	3589	2713	4086	3463	20
CZ 6806 IPRO	3185	2516	4607	3436	31
NS 8018 STS IPRO	3335	2848	4086	3423	18
66MS01 RR1	3466	2573	4082	3374	22
SY 5X1 RR1	4269	2215	3583	3356	31
SYN1561 IPRO	3466	2622	3967	3352	20
DM 66R69 STS	3192	2666	3954	3271	20
60MS01 STS RR1	3609	2296	3822	3242	26
CZ 5907 IPRO	3451	2501	3715	3222	20
DM 67I70 STS	2628	2967	4068	3221	23
NS 8288 STS	3196	2716	3699	3204	15
62MS01 STS IPRO	3185	2558	3831	3191	20
SY 7X1 IPRO	2770	2661	4100	3177	25
CZ 5407 IPRO	3466	2274	3643	3128	24
BIO 5.92 RR1 (13-175)	3171	2250	3848	3090	26
BIO 6.51 IPRO (BRS6)	2908	2282	3839	3010	26
media	3467	2667	3988	3374	22
CV	15	13	7	9	25

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 Ramayón ( $\bar{Y} = 4000$ ) y la mayor variabilidad registrada en Calchaquí ( $CV = 15$ ).

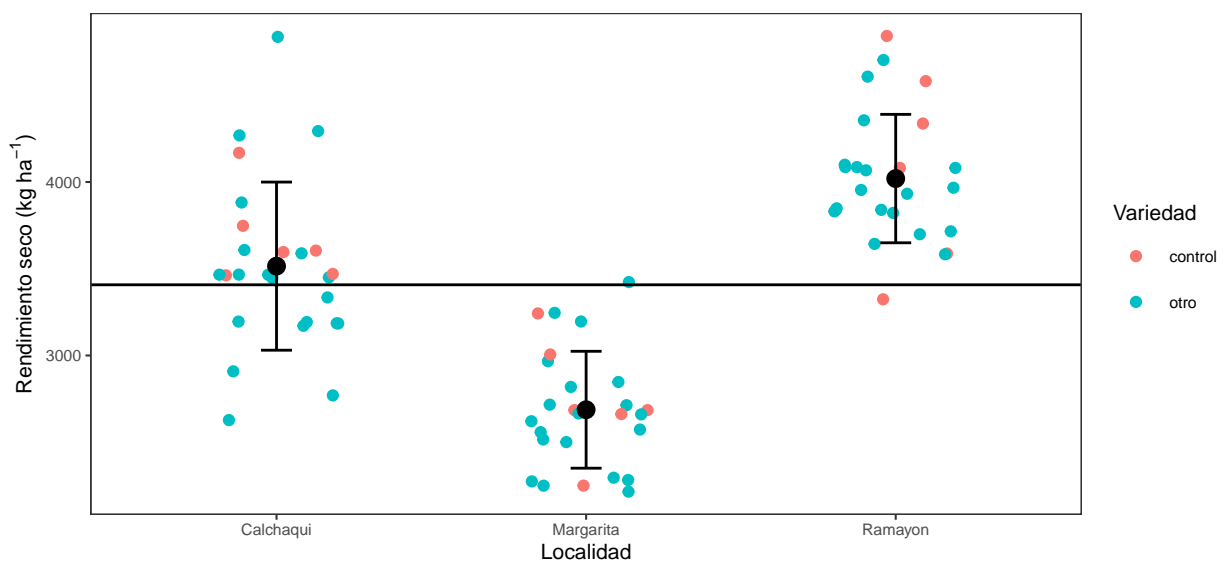


Figura 3: Rendimiento seco medio y desvío estándar por Localidad

En la Figura 3 se presentan los rendimientos medios y desviaciones estándar de las variedades 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 todas las variedades presentaron comportamiento similar entre los distintos ambientes, es decir, el ordenamiento según el potencial de la localidad.

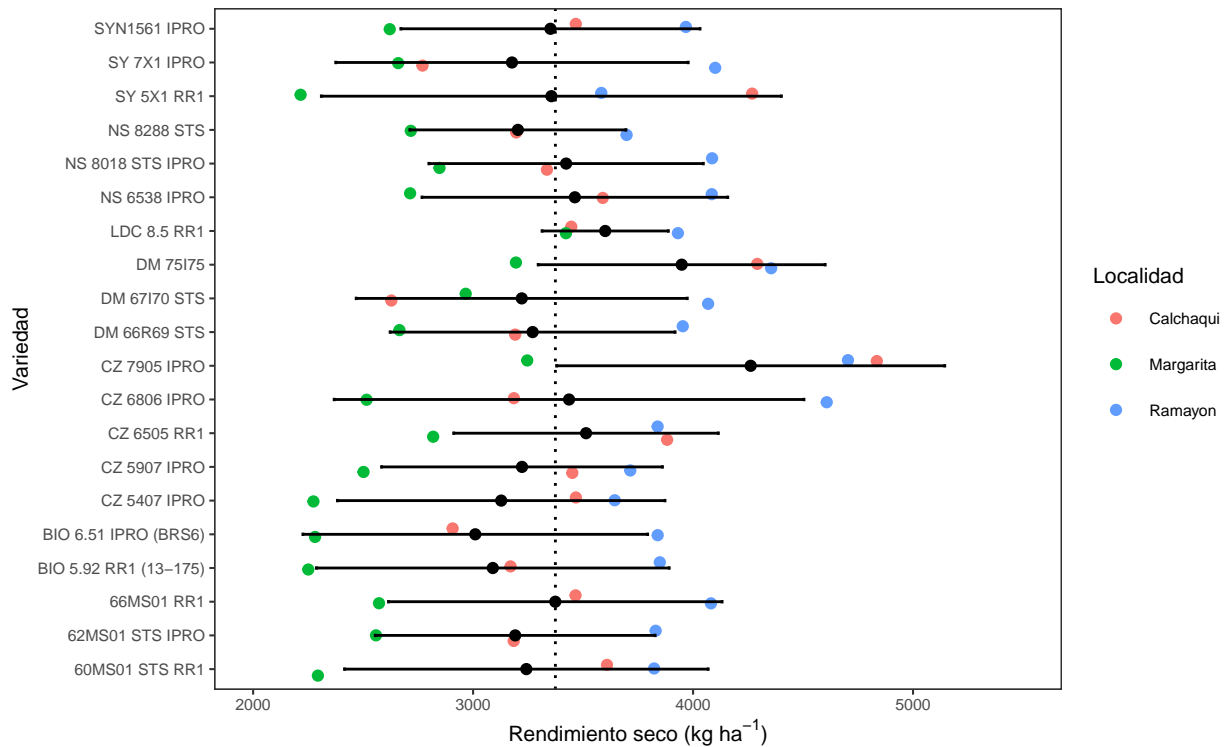


Figura 4: Rendimientos medios y desviación estándar de las variedades

La Figura 4 presenta la relación entre los rendimientos medios y la estabilidad (indicada por el CV) de las variedades 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 las variedades se diferenciaron por nivel de variabilidad y en menor medida su rendimiento. Las variedades DM 75i75 y CZ 7905 IPRO se ubicaron en el cuadrante inferior derecho con rendimientos superiores al promedio y moderada variabilidad. El resto de las variedades tuvieron rendimientos medios o ligeramente inferiores pero con niveles de variabilidad 7 a 30%. La variedad LDC 8.5 RR1 mostró rendimientos medios más estables mientras a diferencia de SY 5x1 RR1 y SY 7x1 IPRO con rendimientos similares pero con CV ~ 30%.

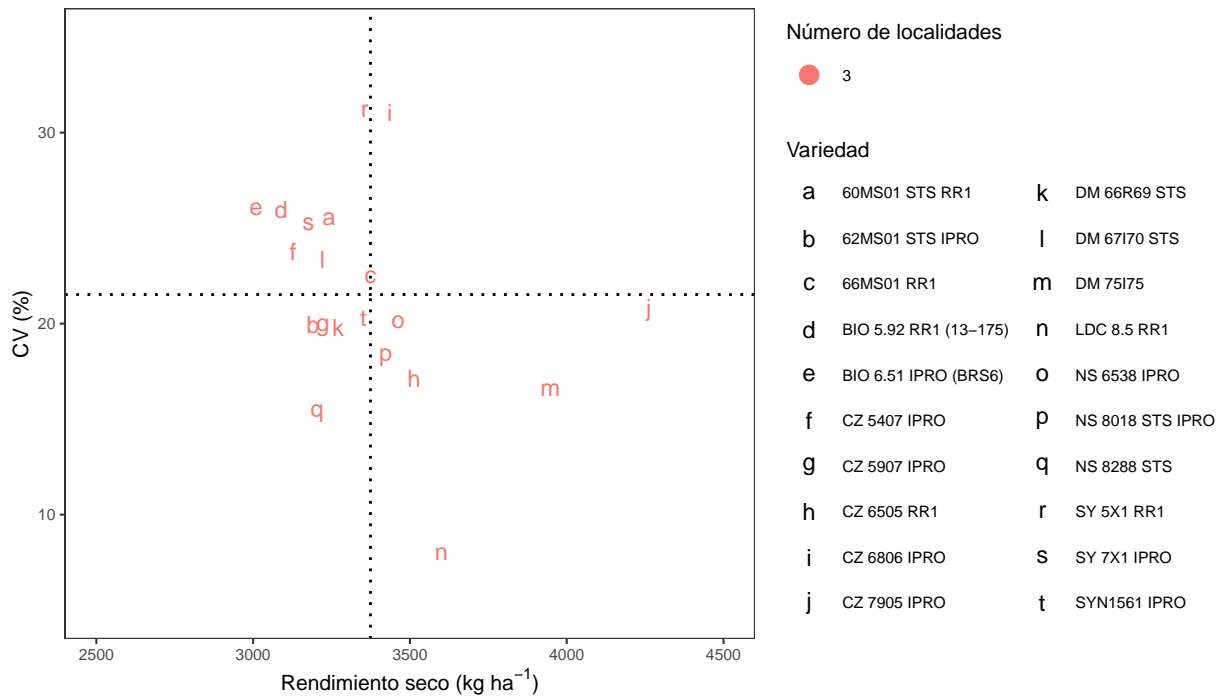


Figura 5: Rendimiento seco medio (en kg/ha) y CV (%) de las variedades evaluados en la campaña 2019/20

## 4.2. Diferencias entre variedades

### 4.2.1. Modelo global

En la Tabla 6 se presentan los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) del modelo mixto ajustado:

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

	gl num	gl den	F	valor p
(Intercept)	1	38	77.095293	0.0000000
Variedad	19	38	2.112626	0.0245312

Se detectaron diferencias de rendimiento estadísticamente significativas considerando la red en su conjunto ( $p = 0.0245$ ). En Tabla 7 se listan los valores medios ajustados, errores estándar e intervalos de confianza de los rendimientos medios de cada variedad. 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 90 % ajustados por el modelo-mixto

	Variedad	Rend. medio	Error estándar	gl	LI IC90	LI IC90	grupo
17	CZ 7905 IPRO	4045	427	2	3984	4106	1
19	DM 75175	3760	427	2	3700	3821	12
5	SY 5X1 RR1	3688	427	2	3628	3749	12
12	CZ 6505 RR1	3615	427	2	3554	3675	12
16	SYN1561 IPRO	3511	427	2	3450	3571	12
11	CZ 5907 IPRO	3479	427	2	3418	3540	12
14	NS 6538 IPRO	3477	427	2	3416	3538	12
2	CZ 5407 IPRO	3431	427	2	3371	3492	12
4	60MS01 STS RR1	3430	427	2	3369	3491	12

	Variedad	Rend. medio	Error estándar	gl	LI IC90	LI IC90	grupo
3	CZ 6806 IPRO	3393	427	2	3332	3454	12
9	66MS01 RR1	3359	427	2	3299	3420	12
1	BIO 5.92 RR1 (13-175)	3353	427	2	3293	3414	12
6	62MS01 STS IPRO	3322	427	2	3261	3382	12
15	LDC 8.5 RR1	3297	427	2	3236	3358	12
7	DM 66R69 STS	3198	427	2	3138	3259	12
20	NS 8018 STS IPRO	3148	427	2	3088	3209	12
8	DM 67I70 STS	3080	427	2	3019	3141	12
18	BIO 6.51 IPRO (BRS6)	3053	427	2	2993	3114	12
13	SY 7X1 IPRO	3029	427	2	2968	3089	12
10	NS 8288 STS	2871	427	2	2811	2932	2

Como se observa en la tabla anterior, las diferencias corresponden a las variedades CZ 7905 IPRO y NS 8288 STS, con una diferencia estimada para toda la red de 1167 kg estimadas.

#### 4.2.2. Modelo por localidad

Al analizar por localidad, en Margarita y Ramayon se utilizó la tendencia observada en las parcelas testigo para ajustar un modelo de covarianza. Luego de la corrección por este efecto las diferencias entre variedades no fueron significativas ( $p = 0.26$  y  $p = 0.61$ ). En cambio, en Calchaquí se detectaron diferencias entre variedades al 10 %.

Tabla 8: Valores F y probabilidad de los analisis de la varianza por Localidad.

Localidad	Valor.F	Valor.p
Calchaquí	3.9757180	0.0659145
Margarita	2.0138240	0.2615561
Ramayón	0.9193136	0.6107521

Tabla 9: Rendimientos intervalos de confianza 90 % ajustados para la localidad de Calchaquí

	Variedad	Rend. medio	Error estándar	gl	LI IC90	LI IC90	grupo
12	CZ 7905 IPRO	4836	264	5	4801	4871	1
19	DM 75I75	4293	264	5	4258	4328	12
5	SY 5X1 RR1	4269	264	5	4234	4304	12
4	CZ 6505 RR1	3882	264	5	3847	3917	12
9	TESTIGO1	3675	108	5	3661	3689	12
2	60MS01 STS RR1	3609	264	5	3574	3644	12
11	NS 6538 IPRO	3589	264	5	3554	3623	12
17	CZ 5407 IPRO	3466	264	5	3431	3501	12
16	SYN1561 IPRO	3466	264	5	3431	3501	12
14	66MS01 RR1	3466	264	5	3431	3501	12
7	CZ 5907 IPRO	3451	264	5	3416	3485	12
3	LDC 8.5 RR1	3447	264	5	3412	3482	12
20	NS 8018 STS IPRO	3335	264	5	3300	3370	12
6	NS 8288 STS	3196	264	5	3161	3231	12
15	DM 66R69 STS	3192	264	5	3157	3227	12
1	62MS01 STS IPRO	3185	264	5	3150	3220	12
21	CZ 6806 IPRO	3185	264	5	3150	3220	12
8	BIO 5.92 RR1 (13-175)	3171	264	5	3136	3206	12
18	BIO 6.51 IPRO (BRS6)	2908	264	5	2873	2943	12
13	SY 7X1 IPRO	2770	264	5	2735	2805	12

	Variedad	Rend. medio	Error estándar	gl	LI IC90	LI IC90	grupo
10	DM 67170 STS	2628	264	5	2593	2663	2

Al igual que lo observado a nivel red, en esta localidad las diferencias se observaron entre los extremos, variedad CZ 79005 IPR0 y DM 67170 STS. Cabe mencionar que en este tipo de análisis la información utilizada para inferir sobre la variabilidad dentro de los tratamientos, medida del error, se obtiene de un grupo reducido de parcelas repetidas lo cual puede limitar la potencia del análisis.

### 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 las variedades 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 Variedad y ambiente. En la siguiente tabla se presenta la tabla de ANOVA del modelo.

Tabla 10: Tabla de ANOVA del modelo de regresión para la interacción GxA

	gl	SC	CM	F	Valor p
Localidad	2	17709545.1	8854772.56	51.3473	0.000
Variedad	19	4961034.0	261107.05	1.5141	0.187
Variedad:IA	19	953137.2	50165.12	0.2909	0.995
Residuals	19	3276523.5	172448.60		

Según este análisis, no se detecta interacción significativa entre los materiales evaluados y el índice ambiental ( $p = 0.9972$ ). 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).

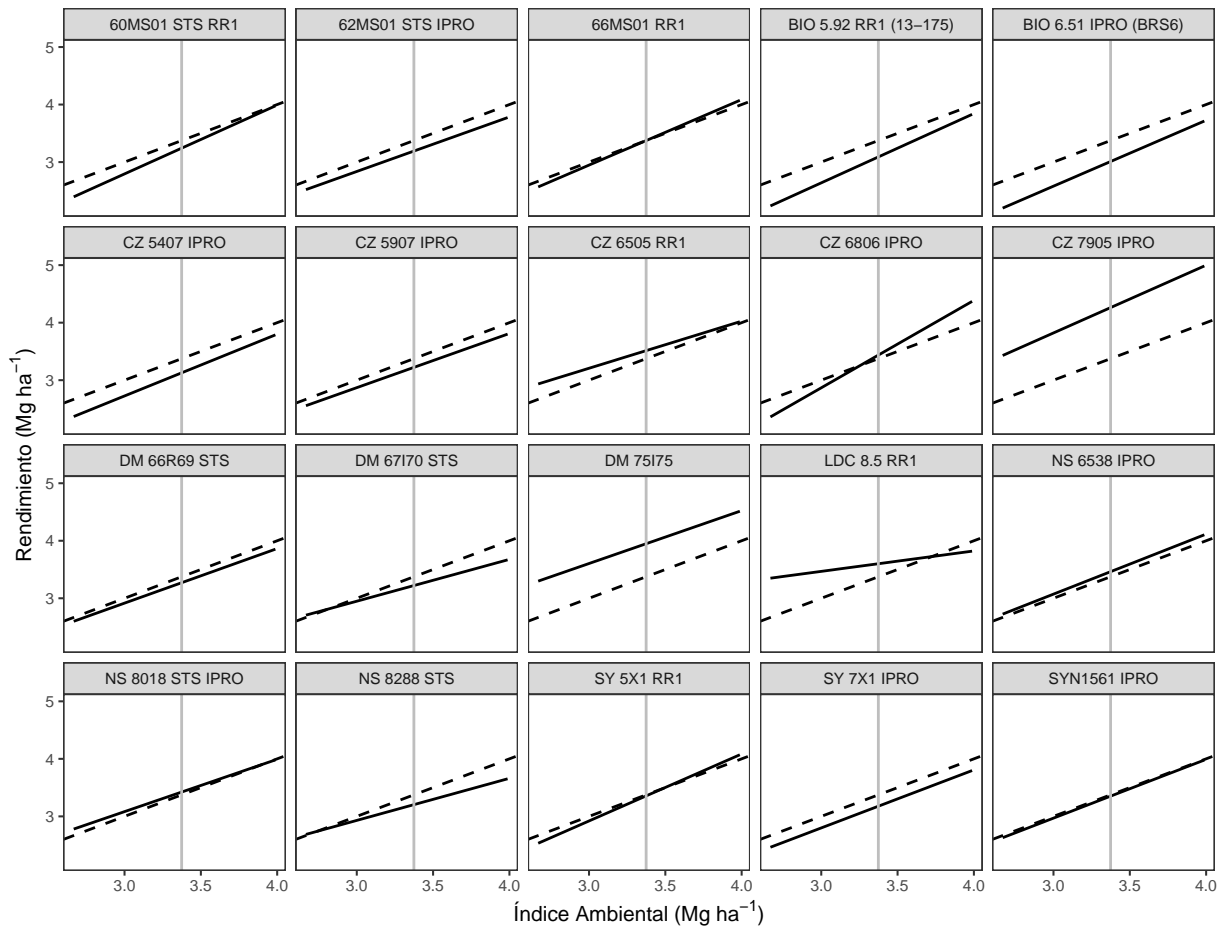


Figura 6: Respuesta diferencial de cada Variedad a los cambios del IA

Las pendientes ( $\beta$ ) de las rectas (línea sólida) representan la sensibilidad de las variedades a la calidad del ambiente caracterizada por el rendimiento medio de la localidad. La sensibilidad promedio (línea punteada) representa la respuesta general de todas las variedades. Para un Variedad cualquiera, si el valor de la pendiente es  $\beta_i > 1$ , la variedad 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 variedad 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 variedades representa la interacción **GA**.

La norma de reacción de todas las variedades 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. No obstante, los resultados de este ensayo muestran que CZ 7905 IPRO y DM 75175 mostraron rendimientos mayores que el promedio en todos los ambientes, con pendiente similar. En cambio, LDC 8.5 RR1 mostró una menor pendiente con buenos rendimientos en el ambiente de menor índice ambiental.

## 5. Consideraciones finales

En general se observó una moderada variabilidad de los rendimientos de cada variedad a través de las distintas localidades evaluadas y moderada heterogeneidad de respuesta dentro de cada localidad. A nivel global las diferencias se observaron entre las variedades con rendimientos extremos, con diferencias el orden de  $\sim 1174$  kg o menos.

Mientras en las localidades Margarita y Ramayon las diferencias no fueron significativas, en Calchaquí se dio un patron similar con diferencias entre los extremos.

El estudio de la interacción **GA** mediante el método de regresión confirmó la homogeneidad de las respuestas de

las variedades donde los patrones de reacción fueron similares al patrón promedio. No obstante, las pendientes estimadas muestran que CZ 7905 IPR0 y DM 75175 presentaron rendimientos superiores en los tres ambientes, mientras que LDC 8.5 RR1 solo en los de bajo índice ambiental.

## 6. Agradecimientos

- A las empresas semilleras: Nidera, Bioceres, NK, Credenz, Asociados Don Mario S.A. 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.

## 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 (2020). 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.