



**REGIÓN SUR
DE SANTA FE**

Informe final de la Red de Variedades de Soja 2023-2024 CREA-SSF

Román Domínguez (*Coordinación regional*)
Agustina Donovan (*Coordinación de ensayos*)
Guillermo Marccasini (*Responsable de sitios*)
Ignacio Gómez (*Responsable de sitios*)
Ignacio Juárez (*Responsable de sitios*)
Matías Curti (*Responsable de sitios*)
Santiago Álvarez Prado (*Análisis de datos, elaboración de informe*)
Guido Di Mauro (*Análisis de datos, elaboración de informe*)
Miembros y asesores CREA Sur de Santa Fe

DESCRIPCIÓN DE LA RED

MANEJO GENERAL

Los ensayos de la Red (también llamados sitios o ambientes) se sembraron en diferentes localidades alrededor de la zona núcleo de producción de soja argentina durante la campaña 2023/24, abarcando centro-sur de Santa Fe, norte de Buenos Aires y este de Córdoba (Fig.1). Todos los campos fueron manejados por productores nucleados en la región CREA Sur de Santa



Fig. 1. Ubicación de los sitios donde se realizaron los ensayos de la campaña 23-24.

Fe. **Actualmente la región cuenta con 19 grupos CREA, de los cuales, 10 grupos realizaron ensayos para la red de evaluación de genotipos de soja 2023/24** (Tabla 1).

En la Tabla 1 y 2 se describen los experimentos en cada sitio. Todos los experimentos fueron manejados en base a decisiones del productor que tomaría en el lote dónde se implantó el ensayo (ej. fertilización / densidad) y con la tecnología actual, lo cual los hace representativos de la producción de soja regional. Todos los ensayos fueron en secano, y las malezas e insectos controlados químicamente. **El cultivo antecesor en la mayoría de los sitios fue maíz (70%), mientras que el espaciamiento entre surcos varió entre 0,35 y 0,42 m dependiendo del ensayo** (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de los ensayos de la red. Se indica el nombre del establecimiento, grupo CREA, localidad, espaciamiento entre surcos (EES) y cultivo antecesor.

CREA	Campo	Localidad	EES (m)	Antecesor
Arenales	La Yola	Arenales	0,40	Maíz Tardío
Posta Espinillos	La Merced	Inrville	0,35	Maíz
San Jorge-Las Rosas	San Vicente	Cruz Alta	0,42	Maíz
El Abrojo	Iberia	Noetinger	0,38	Maíz
Las Petacas	Campo Centeno	P. Casas	0,35	Soja 2°
Armstrong Montes de Oca	La Rosita	Las Parejas	0,35	Maíz
María Teresa	El Pedernal	Santa Emilia	0,35	Trigo
Teodelina	La Nostalgia	Santa Isabel	0,42	Maíz 1°
Santa María	Los Tamarindos	Canals	0,42	Maíz Tardío
Monte Maíz	La Dorita	Alejo Ledesma	0,38	Maíz 1°

A su vez, en cada sitio se tomaron muestras de suelo hasta los 20 cm de profundidad antes de la siembra para determinar parámetros químicos. Se determinó: el porcentaje de materia orgánica (% MO), pH, y la cantidad de P y S (ppm) al momento de la siembra. **En líneas generales los parámetros químicos de suelo mostraron escasa variación dentro la red al comprar sitios (> 20% CV, Tabla 2).** Por ejemplo, % MO y pH vararon entre 1,7-3 y 5,8-6,1, respectivamente (Tabla 2). Misma tendencia se observó para P y S de suelo (Tabla 2).

Por el contrario, la **cantidad de S, P o Ca aplicado vía fertilizante fue diferencial entre sitios**, dónde se observan sitios sin aplicación de ningún nutriente (ej. Noetinger) vs. sitios con alta dosis de fertilizantes aplicados (ej. Arenales o Santa Isabel, Tabla 2).

Tabla 2. Información del suelo, nutrientes aplicados, presencia de napa y agua a la siembra a los 80 cm y precipitaciones (pp) en las distintas localidades evaluadas.

Localidad	MO (%)	pH	P suelo (ppm)	P aplicado (kg ha ⁻¹)	S suelo (ppm)	S aplicado (kg ha ⁻¹)	Ca aplicado (kg ha ⁻¹)	Napa	pp (mm)	Agua a la siembra (%)	Agua a la siembra (mm)
Arenales	2,2	5,9	31,8	13,6	12	19,2	32,0	No	556	84	103
Inriville	2,7	5,8	33,5	0,0	14	0,0	0,0	No	641	62	89
Cruz Alta	2,6	5,8	36,0	0,0	13	0,0	0,0	No	594	93	138
Noetinger	2,3	5,8	37,2	0,0	16	0,0	0,0	No	745	72	110
P. Casas	2,5	5,9	37,3	4,6	13	6,6	11,0	-	806	47	63
Las Parejas	2,5	5,8	35,2	9,2	13	13,2	22,0	-	927	89	133
Santa Emilia	3,0	5,9	39,8	-	16	-	-	No	833	34	51
Santa Isabel	2,9	5,9	33,2	15,3	14	21,6	32,0	Si	874	94	136
Canals	1,7	6,1	36,8	16,1	10	8,4	14,0	No	977	78	84
Alejo Ledesma	2,1	6,1	20,7	sd	11	sd	sd	No	964	83	103

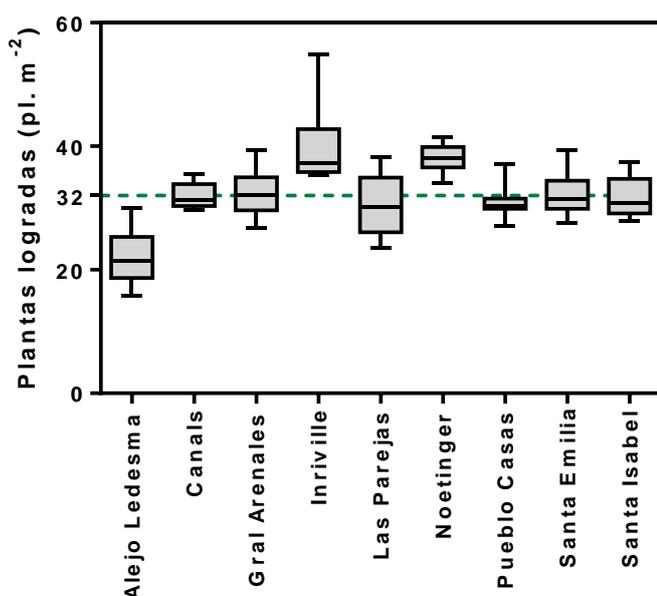


Fig. 2. Boxplot para plantas logradas en cada uno de los sitios donde se realizaron los ensayos de la campaña 23-24. La línea punteada verde refleja la media de la red.

Previo a la siembra, además, se determinó el agua disponible en el suelo (expresada en % y mm), así como también se registró si el lote presentaba influencia de napa. **En cuanto a el agua disponible al momento de la siembra, la misma varió entre 47 a 94% de agua útil disponible, lo que representó (dependiendo de tipo y textura de suelo), una variación de 51 a 138 mm disponible (Tabla 2).** La red presentó tan sólo un sitio (Santa Isabel) con influencia de napa.

Por último, la densidad sembrada en cada sitio fue diferente. A su vez, se

realizaron conteos de plantas en tres sitios de muestreo por parcela y se estimó la densidad lograda (pl. m⁻²). **La media de plantas logradas de la red fue de 32 pl m⁻², presentando valores máximos en Inrville o Noetinger y mínimos en Alejo Ledesma (Fig. 2).**

GENOTIPOS EVALUADOS

Se evaluó un total de 12 genotipos actualmente disponibles en el mercado, involucrando 7 marcas de semillas (Tabla 3). **De los 12 genotipos evaluados, 10 y 2 pertenecieron a los grupos de madurez III y IV, respectivamente.** Estos grupos de madurez se encuentran adaptados a la región, permitiendo maximizar el rendimiento del cultivo en situaciones frecuentes de producción regional ^{1,2}. A su vez, **el 75% de los genotipos evaluados fueron con tecnología Enlist, mientras que el restante 25% RR.** El detalle de cada genotipo evaluado puede encontrarse en la Tabla 3.

Tabla 3. Información de grupo de madurez (GM), marca y tecnología de los 12 genotipos evaluados en la Red de variedades de la Región CREA SSF durante la campaña 2023/24.

Genotipo	GM	Marca	Tecnología
IS 48.2 E	IV	Illinois	Enlist
NS 4634 E STS	IV	Nidera	Enlist
DM 47E23 E	IV	DonMario	Enlist
NEO 45S22 RR STS	IV	Neogen	RR
ST 46EA23	IV	Stine	Enlist
BIO E4.82	IV	Bioceres	Enlist
ST 45EB52 STS	IV	Stine	Enlist
NS 4924 E STS	IV	Nidera	Enlist
NK 39x22 STS	III	NK Semillas	RR
NK 46x23 E	IV	NK Semillas	Enlist
BIO E3.82	III	Bioceres	Enlist
NS 4024 RR	IV	Nidera	RR

DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS

En todos los experimentos se utilizó un diseño con un testigo repetido, el cual se repitió cada 4 parcelas. En cada localidad se utilizó un testigo específico, elegido por el productor siendo el genotipo sembrado en el resto del lote. El testigo fue luego utilizado para estimar la variabilidad dentro del sitio y no se incluye en los rankings finales.

Las parcelas fueron franjas de 8-10 surcos (dependiendo del ancho de la maquinaria del productor) y con un mínimo de 250 m de largo. Se realizó un análisis de la variancia considerando la variabilidad del testigo en cada localidad. El análisis contó con los siguientes pasos:

1. Análisis de la variancia para cada localidad en forma individual.

2. Estimación del coeficiente de variación (CV) a partir del análisis de la variancia.
3. Se descartaron aquellas localidades cuyo CV fue mayor al 15% y/o tuvieran algún detalle en su protocolo.
4. Se realizó el análisis de la variancia en forma individual y conjunta para aquellos sitios con CV menor o igual al 15%.
5. Análisis de estabilidad de rendimiento a través de ambientes ³

Alternativamente, en este informe se incluye una serie de análisis complementarios (ver ANEXO).

RESULTADOS - CAMPAÑA 2023/24

¿CÓMO FUE EL CLIMA DE LA CAMPAÑA?

La campaña 2023-24 presentó buenas condiciones hídricas en todos los sitios. El agua disponible total de siembra a cosecha varió de 659 a 1067 mm (Fig. 3). En cuanto a las temperaturas, en mayor o menor medida todos los sitios exploraron temperaturas por encima de los 32 °C, los cuales se podrían considerar como indicadores de algún tipo de estrés térmico ⁴.

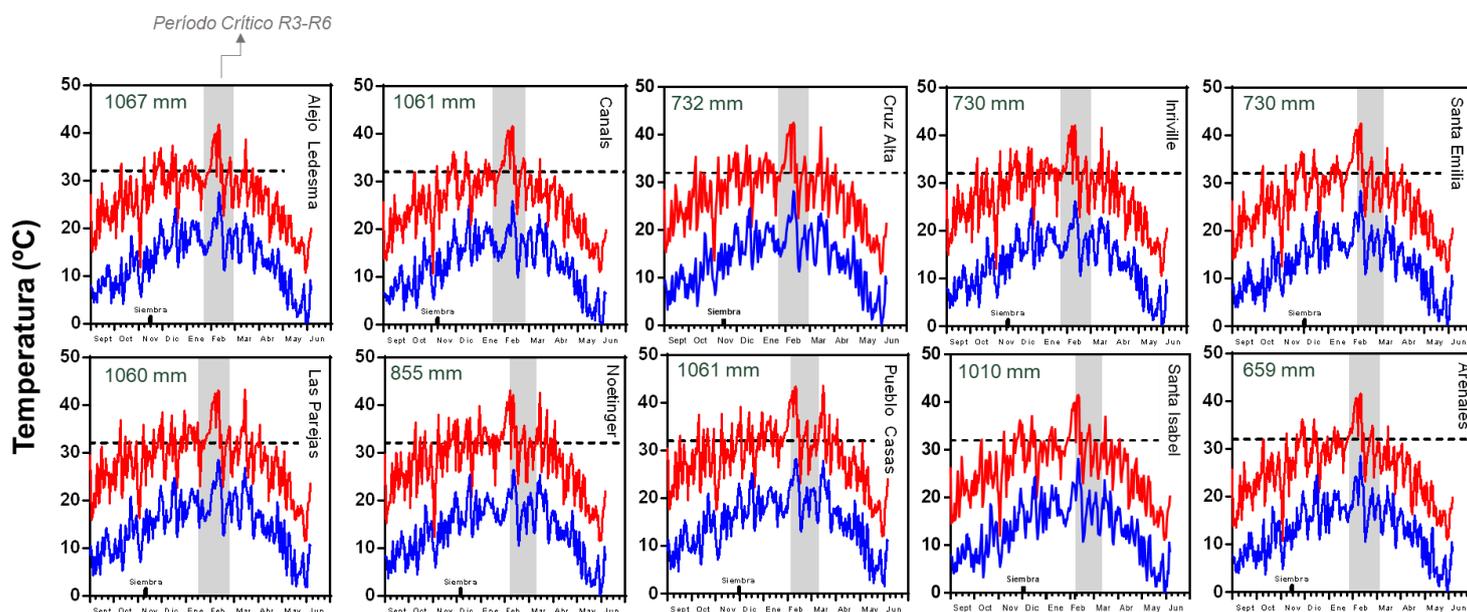


Fig. 3. Marcha diaria de la temperatura máxima (rojo) y mínima (azul) de la campaña 2023-24 durante el ciclo del cultivo de soja para las 10 localidades componentes de la red de ensayos de soja del CREA SSF. Los recuadros grises indican el momento de ocurrencia del período crítico para la determinación del rendimiento, en base a simulaciones de fenología en cada experimento con su fecha de siembra ⁵. La línea punteada horizontal indica una temperatura de 32°C tomada como referencia de potencial efecto de estrés térmico en el cultivo ⁴. El valor en mm indica el agua disponible desde siembra a cosecha (agua a la siembra + precipitaciones). Los datos de temperaturas se obtuvieron de datos satelitales validados ⁶.

¿QUÉ NIVELES DE RENDIMIENTO EXPLORAMOS EN LA ÚLTIMA CAMPAÑA? ¿CÓMO SE COMPORTARON LOS GENOTIPOS?

Los resultados de la red para esta campaña mostraron grandes variaciones en el rendimiento, las cuales variaron entre sitios de 629 a 6,198 kg ha⁻¹ (Fig. 4). El sitio Cruz Alta fue descartado dado que presentó niveles de rendimiento muy por debajo a la media regional para esa fecha de siembra (Fig. 4B). En ese sentido, en base a un análisis histórico de la Red muestra que para las fechas de siembra evaluadas (8/11 al 4/12), **los experimentos estuvieron por encima de la media, sugiriendo que los experimentos de la presente campaña presentaron buenos niveles de rendimiento** (Fig. 4B).

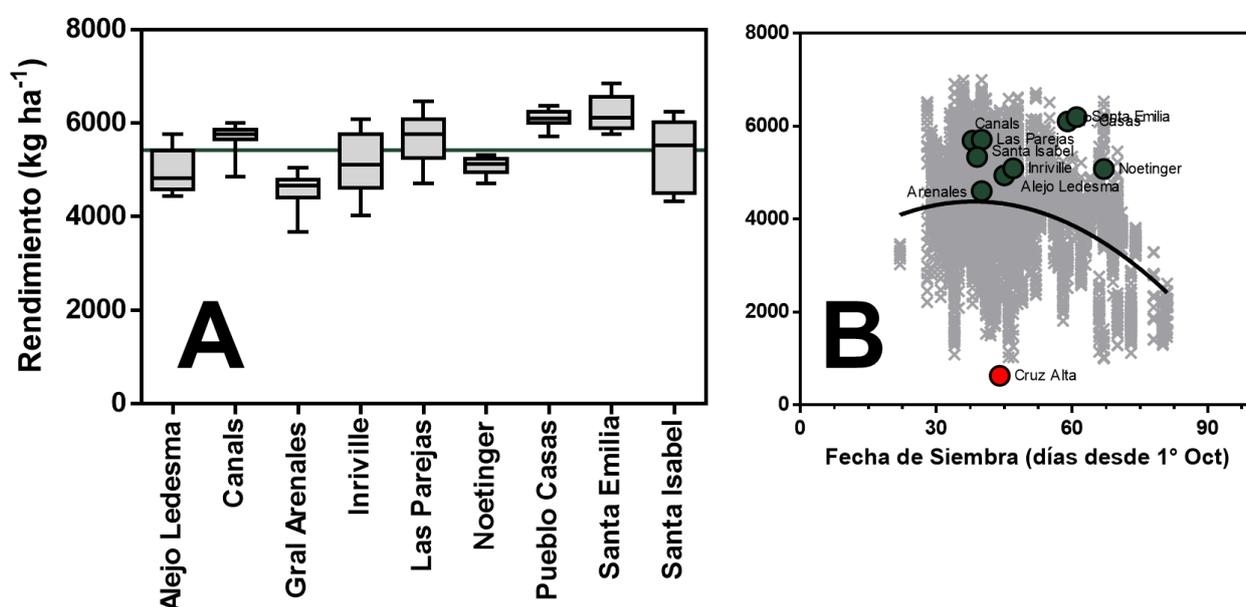


Fig. 4. (A) Boxplot para rendimiento logrado en cada uno de los sitios donde se realizaron los ensayos de la campaña 23-24. La línea verde refleja la media de la red (5,420 kg ha⁻¹). (B) Análisis de regresión histórico de fecha de siembra y rendimiento para la base de experimentos del CREA SSF 2005-22 ($n=7.000$ registros)

Por su parte, la Tabla 4 muestra los rankings de rendimiento para para cada localidad por separado. Vale destacar que todas las localidades con datos presentaron CV menores al 15% a excepción de Cruz Alta. Es por eso que dicha localidad no fue considerada para el análisis conjunto (Fig. 5). A su vez, de este primer análisis se desprende que el 60 y 40% de las localidades evaluadas permitieron discriminar genotipos (Tabla 4). Para el caso de Santa Isabel, que no presentó todo el set de genotipos en evaluación, se realizó el análisis sin incluirla (Fig. 5), aunque en el ANEXO pueden verse los resultados con su inclusión (Fig. A-1).

Tabla 4. Rendimiento (kg ha^{-1} , 13,5% de humedad) de los genotipos evaluados. En verde se indican los genotipos de mayor rendimiento sin diferencias significativas de acuerdo a la diferencia mínima significativa ($p < 0,05$). En gris indica el resto de los genotipos. Al final de la tabla se indica la media del sitio y su coeficiente de variación (CV, %).

	Alejo Ledesma	Canals	Cruz Alta ^A	Arenales	Inrville	Las Parejas	Noetinger	Pueblo Casas	Santa Emilia	Santa Isabel
N S 4634 E ST S	4.894	5.753	584	4.610	5.517	6.461	5.168	6.376	6.844	5.618
DM 47E23 E	5.522	5.855	579	4.479	6.090	5.957	5.097	6.159	5.917	6.163
NEO 45S22 RR ST S	5.630	5.826	248	4.792	4.801	6.131	4.992	6.124	6.422	
ST 46EA23	5.088	5.969		4.770	4.929	5.620	5.310	6.373	6.648	5.547
I S 48.2 E	5.768	5.855	834	5.012	5.892	6.422	4.755	6.045	6.033	4.333
BIO E4.82	4.446	5.670	1.497	4.385	5.835	5.891	5.243	6.133	6.175	
N S 4924 E ST S	4.497	5.998		4.704	5.127	5.976	4.944	6.075	5.880	4.953
NK 46x23 E	4.932	5.791	249	4.390	4.104	5.573	4.716	5.981	6.608	5.514
NK 39x22 ST S	4.767	5.407	415	5.041	4.550	5.187	5.200	5.931	6.205	
ST 45EB52 ST S	4.642	5.718		4.797	5.087	5.409	5.225	6.277	6.047	4.343
BIO E3.82	4.565	5.657		3.671	5.215	4.705	5.004	6.066	5.768	6.243
N S 4024 RR	4.607	4.854		4.605	4.021	5.205	5.322	5.720	5.831	
Media (kg ha^{-1})	4.946	5.696	629	4.605	5.097	5.712	5.081	6.105	6.198	5.339
CV (%)	9	4	45	1	14	2	7	2	7	6

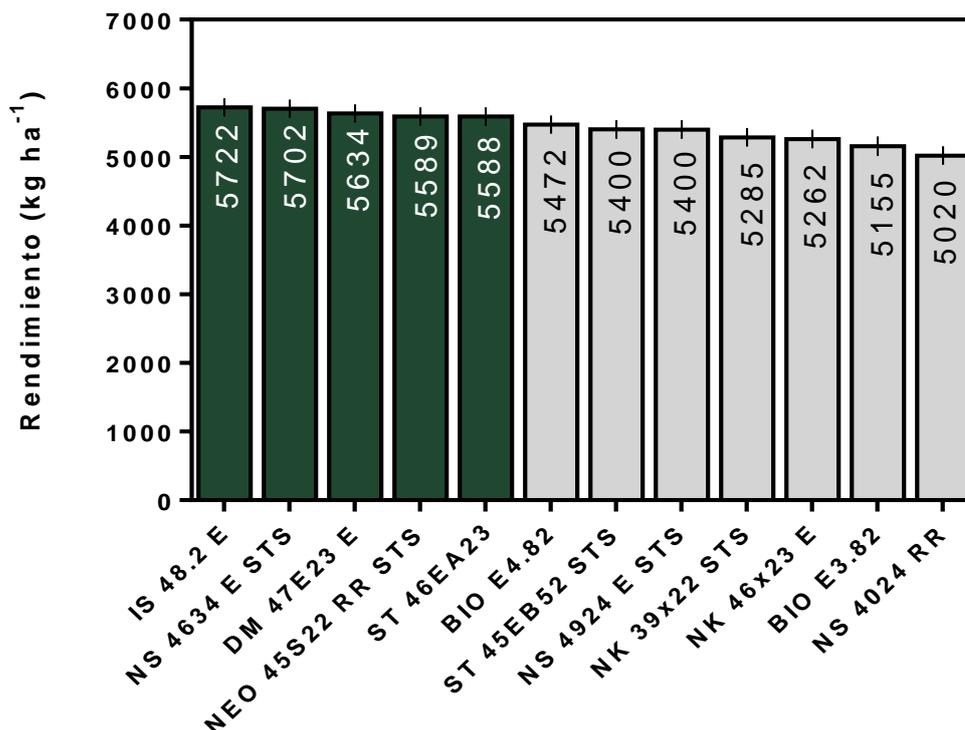


Fig. 5. Rendimiento (kg ha⁻¹, 13,5% de humedad) de los genotipos evaluados ordenados de mayor a menor rendimiento para toda la Región SSF. En verde se indican los genotipos de mayor rendimiento sin diferencias significativas de acuerdo a la diferencia mínima significativa ($p < 0,05$). En gris indica el resto de los genotipos. En este análisis se excluyeron Santa Isabel y Cruz Alta.

Por otro lado, en la Fig. 5 se presenta el ranking de híbridos para toda la región Sur de Santa Fe. **La diferencia entre el genotipo de mayor y menor rendimiento fue de aproximadamente 700 kg ha⁻¹.** Alternativamente, un análisis discriminador por subregión dentro del CREA SSF puede encontrarse en ANEXO (Fig. A-2).

En cuanto al comportamiento de los genotipos a través de ambientes de diferente potencial de rendimiento se realizó un análisis de regresión entre el promedio de los ensayos (i.e. índice ambiental) y el rendimiento de cada genotipo (Fig. 6 y 7). En líneas generales se encontraron genotipos, para ambos grupos de madurez, tanto adaptables a buenos ambientes ($b > 1$) como a ambientes restrictivos ($b < 1$; Fig. 6 y 7). En algunas situaciones el ajuste de la regresión fue relativamente bajo, potencialmente influenciado por el limitado número y rango ambiental explorado en una única campaña (Fig. 6 y 7).

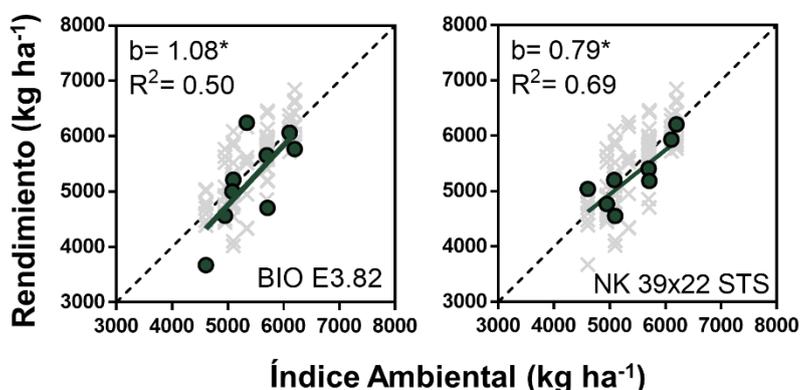


Fig. 6. Análisis de estabilidad para genotipos de grupo de madurez III evaluados. Las cruces grises muestran el resto de los genotipos.

* $p < 0,05$. b = pendiente; R^2 = coeficiente de determinación.

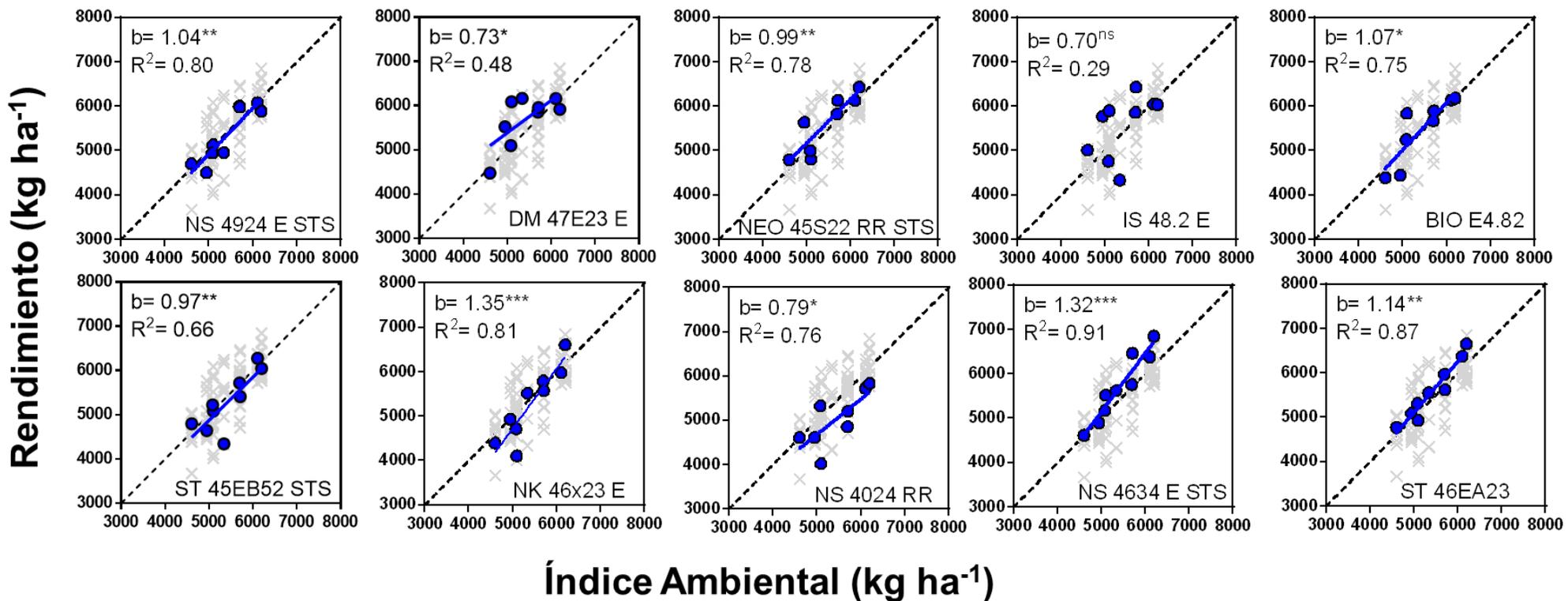


Fig. 7. Análisis de estabilidad para genotipos de grupo de madurez IV evaluados. Las cruces grises muestran el resto de los genotipos. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. b = pendiente; R^2 = coeficiente de determinación.

Finalmente, combinando el comportamiento medio de cada genotipo (i.e. rendimiento medio en ranking general) con el análisis de estabilidad es posible agrupar a los genotipos evaluados en diferentes grupos (i.e. cuadrantes en Fig. 8). Aproximadamente 3 genotipos fueron clasificados en cada categoría (Fig. 8). Este tipo de análisis combinado permite clasificar a los genotipos según su productividad para un ambiente promedio de la región, pero también en base a su comportamiento/posicionamiento a través de ambientes.

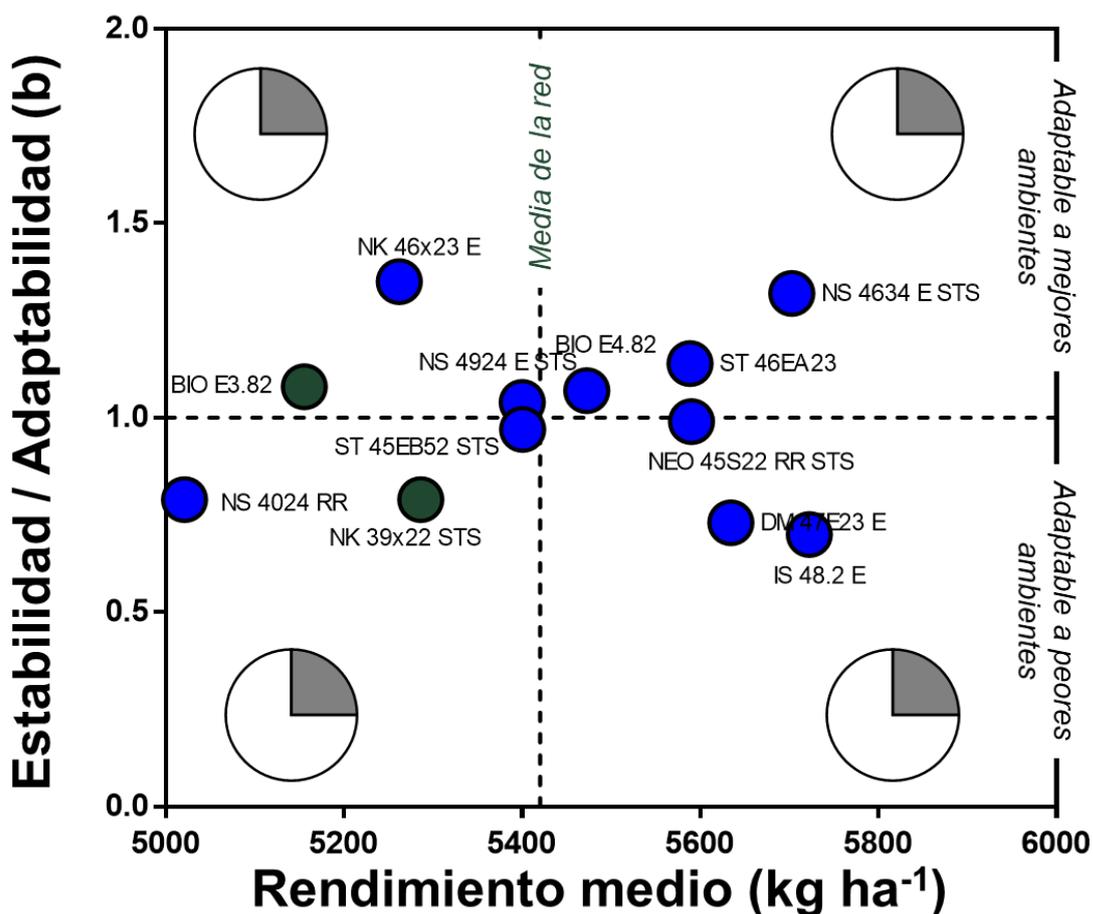


Fig. 8: Relación entre el grado de estabilidad/adaptabilidad de un genotipo y su rendimiento promedio a través de la red de ensayos. El grado de estabilidad/adaptabilidad se obtuvo a partir de la pendiente entre el rendimiento del genotipo y el índice ambiental (rendimiento promedio del sitio)³. En este análisis se excluyeron Santa Isabel y Cruz Alta. La línea vertical indica el rendimiento promedio de la Red.

RESULTADOS – HISTÓRICO CREA SSF

Por último en el presente informe se realizó un análisis de estabilidad ³ para aquellos genotipos evaluados durante la campaña 2023/24 pero que también fueron incluidos en campañas anteriores (3 años). La Fig. 9 muestra este análisis. Más allá del comportamiento de cada genotipo, como era de esperarse, los R² de los ajustes mejoraron al incorporar más ensayos y expandir el rango ambiental evaluados.

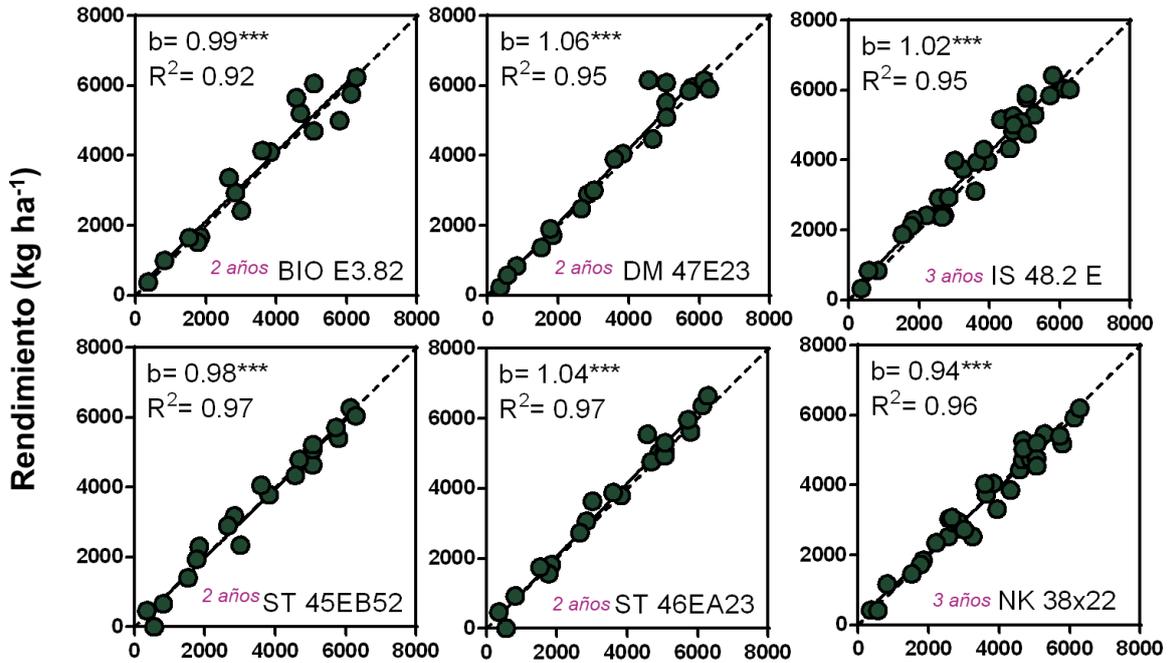


Fig. 9. Análisis de estabilidad para genotipos evaluados durante esta campaña y también en alguna de las 3 campañas anteriores. *** $p < 0.001$. b = pendiente; R^2 = coeficiente de determinación.

ANEXO

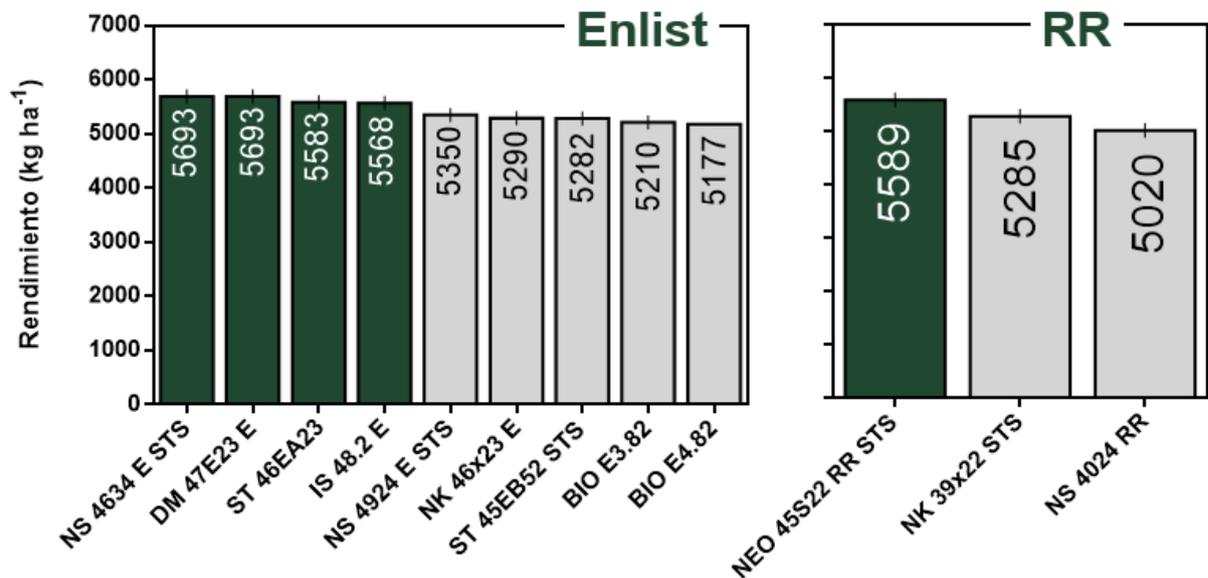


Fig. A-2. Rendimiento (kg ha^{-1} , 13,5% de humedad) de los genotipos evaluados ordenados de mayor a menor rendimiento para diferentes tecnologías en la región CREA SSF. En verde se indican los genotipos de mayor rendimiento sin diferencias significativas de acuerdo a la diferencia mínima significativa ($p < 0,05$). En gris indica el resto de los genotipos. En este análisis se excluyeron Cruz Alta (incluye Santa Isabel)

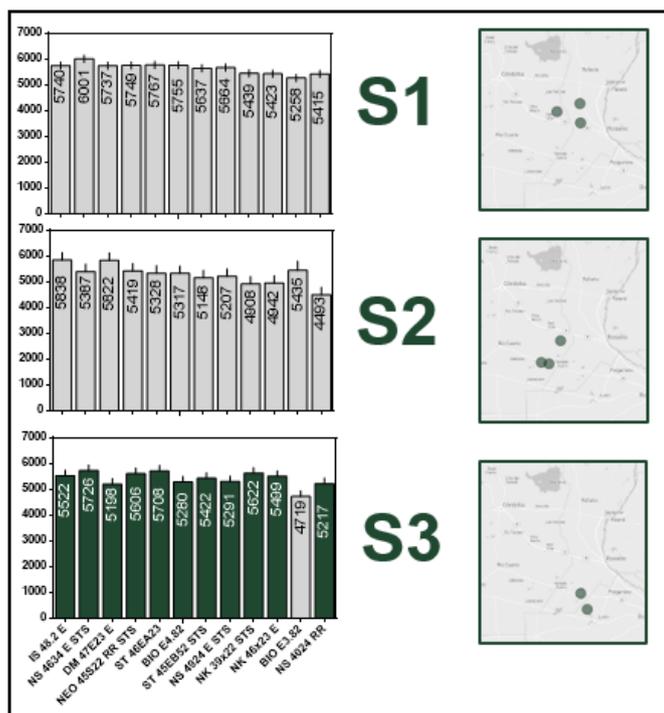


Fig. A-2. Rendimiento (kg ha^{-1} , 13,5% de humedad) de los genotipos evaluados ordenados de mayor a menor rendimiento (según el análisis conjunto) para diferentes subregiones (S1, S2 y S3) componentes de la región CREA SSF. En verde se indican los genotipos de mayor rendimiento sin diferencias significativas de acuerdo a la diferencia mínima significativa ($p < 0,05$). En gris indica el resto de los genotipos. En este análisis se excluyeron Santa Isabel y Cruz Alta

REFERENCIAS

1. Di Mauro, G., Borrás, L., Rugeroni, P. & Rotundo, J. L. Exploring soybean management options for environments with contrasting water availability. *J. Agron. Crop Sci.* **205**, 274–282 (2019).
2. Di Mauro, G. *et al.* Defining soybean maturity group options for contrasting weather scenarios in the American Southern Cone. *F. Crop. Res.* **287**, 108676 (2022).
3. Finlay, K. W. & Wilkinson, G. N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* **14**, 742–754 (1963).
4. Ergo, V. V., Lascano, R., Vega, C. R. C., Parola, R. & Carrera, C. S. Heat and water stressed field-grown soybean: A multivariate study on the relationship between physiological-biochemical traits and yield. *Environ. Exp. Bot.* **148**, 1–11 (2018).
5. Severini, A. D. *et al.* CRONOSOJA: a daily time-step hierarchical model predicting soybean development across maturity groups in the Southern Cone. *in silico Plants* **6**, diae005 (2024).
6. Aramburu Merlos, F. *et al.* Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *F. Crop. Res.* **184**, 145–154 (2015).