

INFORME DE RESULTADOS SORGO EN AMBIENTES CON SALINIDAD CRECIENTE ADVANTA - AGROINNOVA

CAMPAÑA 2025/26

RESUMEN EJECUTIVO

Se condujeron dos experimentos de campo en bajos próximos a la ciudad de América, Buenos Aires, para caracterizar la respuesta del sorgo a un gradiente de salinidad y alcalinidad. Como referencias agronómicas se incluyeron girasol y soja testigo. Los ambientes se definieron inicialmente por posición topográfica, cobertura vegetal y rasgos edáficos visibles, y luego se caracterizaron mediante pH y conductividad eléctrica del suelo.

El gradiente ambiental fue consistente: el pH medio aumentó desde 5,64 en el ambiente A hasta 9,62 en F, mientras que la conductividad eléctrica alcanzó 6,66 dS m⁻¹ en F. El sorgo presentó el mayor coeficiente de logro en todos los ambientes, con valores de 61 a 89% entre A y E y una caída a 19% en F. La soja testigo y el girasol mostraron menor establecimiento y mayor deterioro del crecimiento en los sectores salinos y alcalinos.

El sorgo fue el único cultivo con parcelas cosechables en varios ambientes, aunque los rendimientos fueron bajos y muy variables: 157 a 344 kg ha⁻¹ entre ambientes con cosecha. No se obtuvieron parcelas cosechables en F. El girasol alcanzó madurez fisiológica y formó granos en algunos sectores, pero la estructura lograda no permitió obtener rendimientos agrícolas significativos. En soja no se registró rendimiento debido al fuerte enmalezamiento de los ambientes salinos.

OBJETIVO

Evaluar la adaptación agronómica del sorgo a condiciones de campo con salinidad y alcalinidad crecientes en el horizonte superficial del suelo, utilizando al girasol y a la soja testigo como referencias de respuesta dentro del mismo gradiente ambiental.

APROXIMACIÓN METODOLÓGICA

Sitios, implantación y manejo previo

Los experimentos se realizaron en dos bajos de campos de producción cercanos a la ciudad de América, partido de Rivadavia, Buenos Aires. La siembra se efectuó el 12 de diciembre de 2025. Las densidades objetivo fueron 220.000 semillas ha^{-1} para sorgo, 55.000 semillas ha^{-1} para girasol y 400.000 semillas ha^{-1} para soja. La fertilización de base fue de 80 kg ha^{-1} de superfosfato triple.

Antes de la siembra se controló la vegetación presente mediante dos secuencias de doble golpe. Cada secuencia incluyó glifosato más 2,4-D y, aproximadamente una semana después, paraquat, siempre a dosis de marbete. Este manejo permitió instalar los experimentos sobre un gradiente que originalmente presentaba comunidades vegetales contrastantes, adaptadas a las diferentes posiciones del paisaje.

Ambientes tipo

Antes de la aplicación de herbicidas, los sectores se clasificaron visualmente según topografía, cobertura vegetal y caracterización edáfica de campo. Esta clasificación se mantuvo como referencia para asignar cada parcela a uno de seis ambientes tipo (Tabla 1.).

Tabla 1. Caracterización visual de ambientes tipo en el bajo salino.

Ambiente	Descripción original
A	Bajo agrícola de posición elevada
B	Bajo agrícola de posición baja
C	Bajo de transición con gramón
D	Bajo salino con pelo de chanco
E	Bajo salino sin cobertura
F	Bajo salino-sódico con sal en superficie

Diseño, mediciones y unidad de observación

En cada sitio se sembraron tres franjas aleatorizadas de sorgo, tres de girasol y tres de soja testigo, atravesando el gradiente ambiental. Dentro de las franjas se definieron parcelas de 3 m de largo por dos surcos de ancho. Dos semanas después de la siembra, el 30 de diciembre de 2025, se contó el número de plantas logradas en 3 m lineales de las dos hileras centrales de cada parcela y se calculó el coeficiente de logro como proporción de la densidad objetivo de cada cultivo.

Cada parcela se asignó al ambiente tipo correspondiente y se midió la conductividad eléctrica del suelo in situ. Además, se obtuvieron muestras del estrato 0-20 cm para determinaciones de laboratorio de pH y conductividad eléctrica en una relación suelo:agua 1:2,5. En los mismos puntos se realizaron mediciones con un conductímetro portátil altamente calibrado y un peachímetro portátil de calibración indirecta.

La cosecha se realizó el 19 de junio de 2026 sobre 6 m lineales de las parcelas que conservaron una estructura cosechable, que fueron aproximadamente la mitad del total sembrado. De destacarse que esta condición debe ser considerada al interpretar los rendimientos: los promedios de rendimiento evaluados corresponderán exclusivamente a las parcelas efectivamente cosechadas y no incorporarán como cero a las parcelas perdidas o descartadas.

Criterio de análisis

Para caracterizar una cantidad suficiente de observaciones por ambiente tipo, los dos sitios se analizaron en conjunto. El sitio y el bloque no se incluyeron como factores; cumplieron únicamente una función de orden en el diseño de campo. En el análisis, las parcelas se consideraron observaciones completamente aleatorizadas en el espacio.

Debido a la complejidad de los datos de logro y rendimiento, al desbalance en el número de parcelas por ambiente y a la pérdida diferencial de unidades durante el ciclo, estas variables se analizaron descriptivamente mediante medias, desvíos y errores estándar. No se realizaron pruebas formales de diferencias entre cultivos o ambientes para logro y rendimiento. Para pH y conductividad eléctrica de laboratorio sí se efectuaron análisis de la varianza y comparaciones de medias por la prueba LSD de Fisher con $\alpha=0,05$.

RESULTADOS

1. Caracterización edáfica de los ambientes tipo

La clasificación visual previa a la siembra representó adecuadamente el gradiente de alcalinidad (Figura 1). El pH medio aumentó desde 5,64 en A hasta 9,62 en F. Las diferencias entre ambientes fueron altamente significativas ($p < 0,0001$). Los ambientes A y B se diferenciaron con claridad, mientras que C representó una transición hacia valores alcalinos y D, E y F conformaron el extremo de mayor alcalinidad.

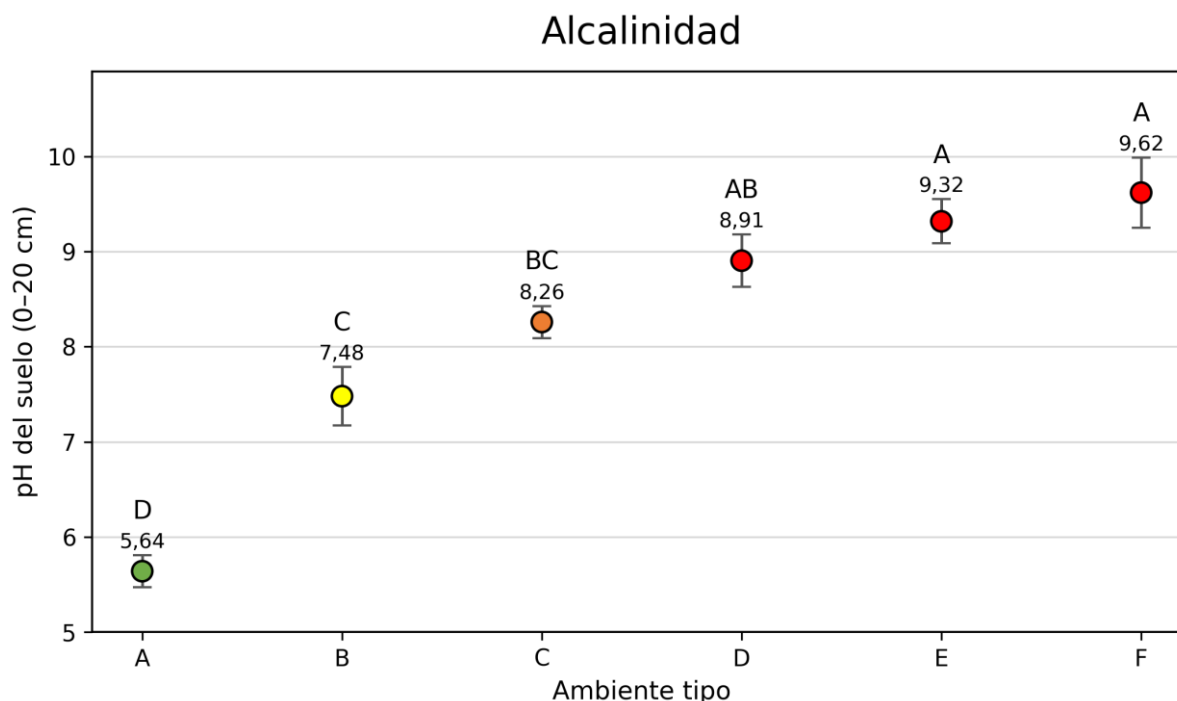


Figura 1. Alcalinidad de los 20 cm superiores del suelo en los seis ambientes tipo. Los puntos representan la media y las barras el error estándar de 4 a 5 observaciones por ambiente. Los colores indican el riesgo relativo para el crecimiento normal de la soja. Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba LSD de Fisher ($\alpha = 0,05$). El análisis de la varianza detectó diferencias entre ambientes ($p < 0,0001$).

La salinidad mostró menos diferencia entre ambientes tipo que la alcalinidad, con una separación más concentrada en el ambiente F de muy alta salinidad (Figura 2). Entre los ambientes A y E, los valores medios variaron entre 0,40 y 1,25 dS m⁻¹ y no se diferenciaron por la prueba de medias. En F, la conductividad eléctrica media fue 6,66 dS m⁻¹, con elevada variabilidad entre puntos de muestreo, y resultó significativamente superior al resto. El análisis de la varianza también fue altamente significativo ($p < 0,0001$).

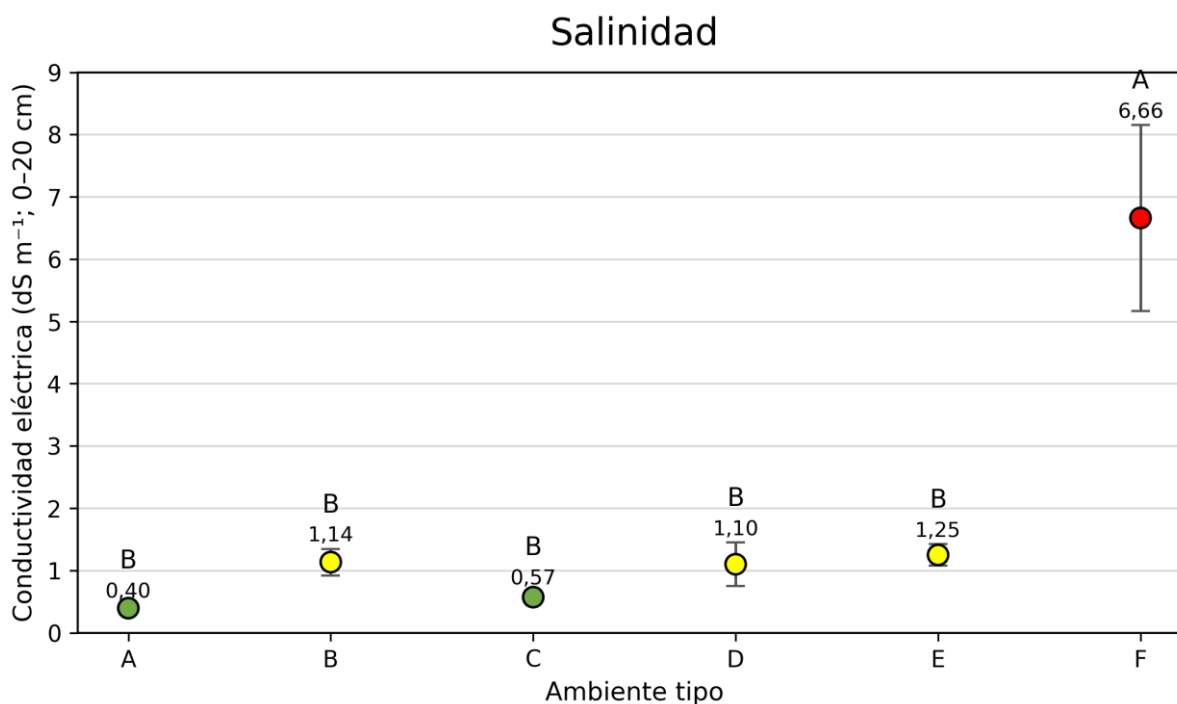


Figura 2. Salinidad de los 20 cm superiores del suelo en los seis ambientes tipo, expresada como conductividad eléctrica informada por laboratorio. Los puntos representan la media y las barras el error estándar de 4 a 5 observaciones por ambiente. Los colores indican el riesgo relativo para el crecimiento normal de la soja. Letras diferentes indican diferencias significativas por la prueba LSD de Fisher ($\alpha=0,05$). El análisis de la varianza detectó diferencias entre ambientes ($p<0,0001$).

En conjunto, la secuencia de ambientes A-F fue más gradual para pH que para conductividad eléctrica. Por lo tanto, los ambientes tipo no representaron únicamente niveles crecientes de salinidad: integraron alcalinidad, salinidad, posición topográfica, cobertura previa y otras propiedades edáficas asociadas. Esta distinción es importante para interpretar respuestas variables del cultivo entre C, D y E.

Desempeño de los sensores de campo

El sensor dedicado exclusivamente a conductividad eléctrica capturó satisfactoriamente el gradiente observado en laboratorio y resultó útil para describir la variación parcela por parcela. El equipo que incluía medición de pH no reprodujo los valores de laboratorio con precisión suficiente para utilizarlo como sustituto analítico. La heterogeneidad espacial, el contenido hídrico del suelo y la sensibilidad de contacto de los sensores probablemente contribuyeron a esas diferencias. En consecuencia, la conductividad eléctrica in situ se utilizó como descriptor cuantitativo complementario, mientras que la interpretación de pH se basó en las determinaciones de laboratorio.

2. Implantación de los cultivos

El sorgo presentó el mayor coeficiente de logro en los seis ambientes (Figura 3). Entre A y E, sus valores medios se ubicaron entre 61 y 89%; en F disminuyeron a 19%. La soja alcanzó entre 35 y 62% en A-E y 6% en F. El girasol fue el cultivo con menor logro medio en la mayor parte del gradiente: 15 a 45% en A-D, 57% en E y 2% en F. Los errores estándar reflejan una variabilidad considerable y un número desigual de parcelas por combinación cultivo-ambiente.

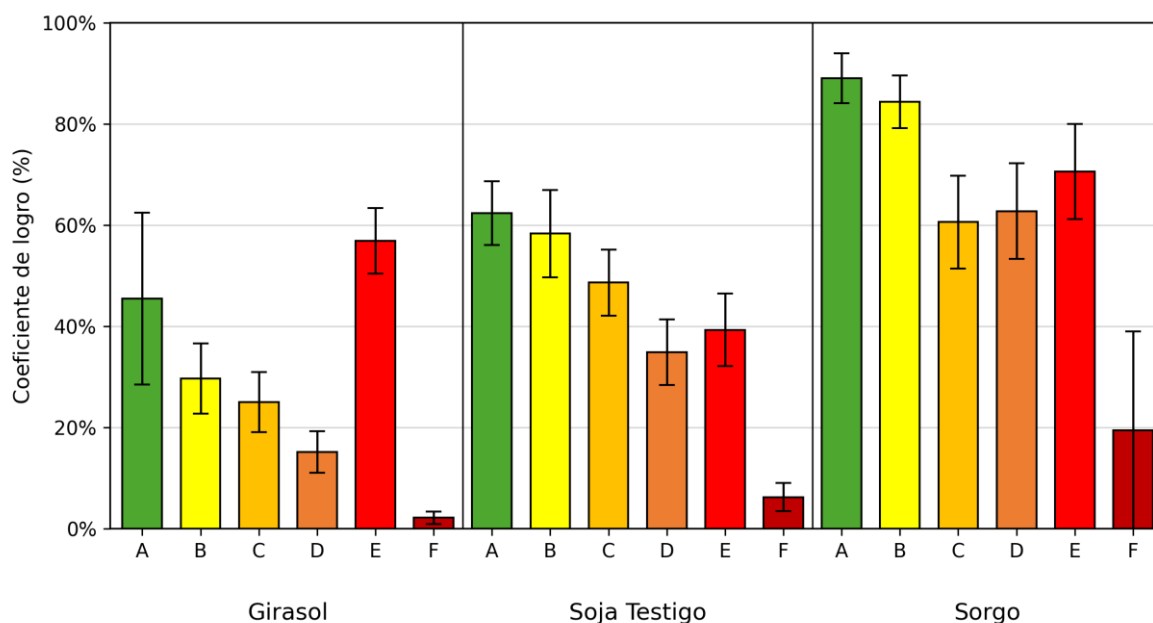


Figura 3. Coeficiente de logro de girasol, soja testigo y sorgo en los ambientes tipo A-F. Las barras representan la media y las líneas el error estándar. Los resultados integran los dos sitios y se presentan de manera descriptiva; no se realizaron comparaciones estadísticas formales para esta variable.

La conductividad eléctrica medida en cada parcela se relacionó negativamente con el coeficiente de logro de los tres cultivos (Figura 4). Los ajustes logarítmicos fueron descriptivos y explicaron una fracción moderada de la variabilidad, dentro de lo reportado tradicionalmente por la literatura de la materia (R^2 entre 0,20 y 0,30). A una misma conductividad eléctrica, el sorgo tendió a mantener un logro superior, la soja presentó valores intermedios y el girasol los menores. La dispersión remanente confirma que la conductividad eléctrica no fue la única limitante y que el pH, la heterogeneidad física, la historia de manejo y la competencia con malezas también incidieron.

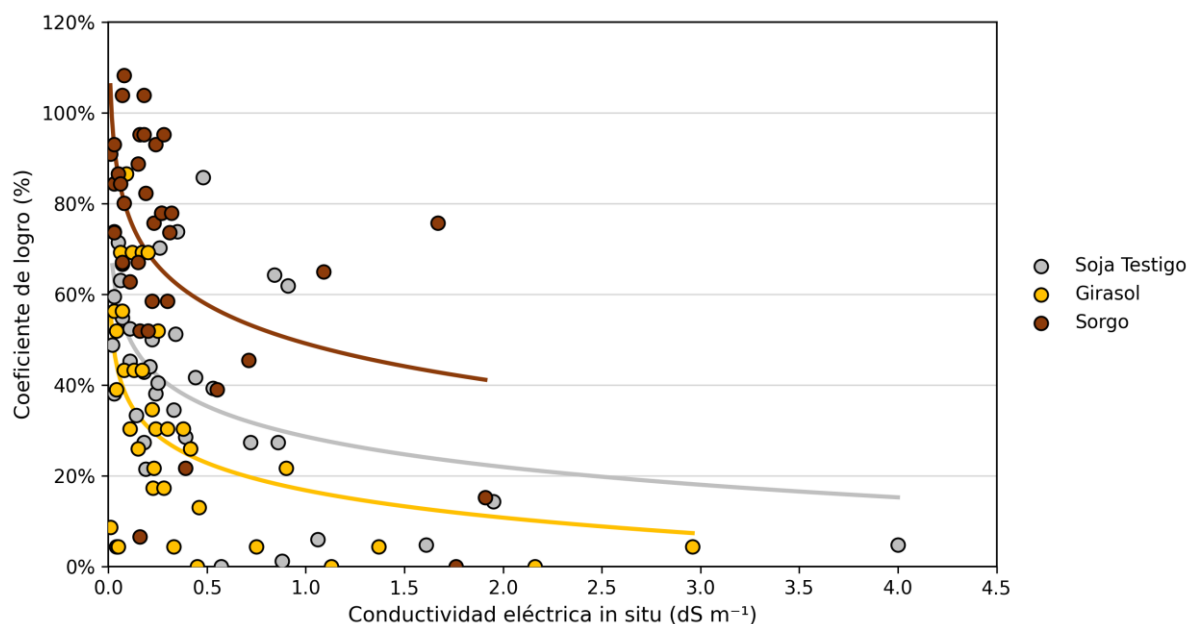


Figura 4. Relación descriptiva entre el coeficiente de logro y la conductividad eléctrica del suelo medida in situ para girasol, soja y sorgo. Cada punto corresponde a una parcela y las líneas representan ajustes logarítmicos por cultivo. No se utilizaron estas regresiones para realizar inferencias formales.

3. Evolución durante el ciclo y competencia con malezas

El sorgo mantuvo buen crecimiento y capacidad de cobertura desde los ambientes A hasta E. En esos ambientes, las malezas permanecieron mayormente por debajo del canopeo y con menor desarrollo relativo. En F se observaron algunas emergencias iniciales, pero no se sostuvo un crecimiento productivo. Este comportamiento fue consistente con su mayor tolerancia relativa a salinidad y alcalinidad y con una mayor capacidad competitiva una vez establecido.

El girasol mostró un crecimiento intermedio en varios ambientes salino-sódicos, pero no sostuvo crecimiento en F. En A se había registrado implantación inicial, aunque posteriormente se observaron pérdidas de plantas y bajo crecimiento. En los sectores en los que formó canopeo, las malezas fueron abundantes, pero permanecieron en buena medida por debajo del cultivo.

La soja presentó crecimiento limitado, incluso fuera del extremo más salino, y no sostuvo crecimiento en F. En los ambientes de bajo se desarrolló una presión elevada de malezas. La baja cobertura de la soja redujo su capacidad competitiva y generó una retroalimentación negativa: menor crecimiento del cultivo permitió mayor desarrollo de malezas, que a su vez intensificaron la competencia por recursos.

Cabe destacar que la pérdida de plantas de girasol y el crecimiento reducido y bajo verdor observado de la soja en el ambiente A no se explican por salinidad o alcalinidad, dado que este ambiente presentó los menores valores de ambas variables y el sorgo creció sin síntomas equivalentes. El patrón es compatible con un posible efecto residual de herbicidas asociados a la historia agrícola del sector.

4. Rendimiento

El girasol alcanzó madurez fisiológica y presentó granos en algunos sectores, pero la estructura lograda no permitió cosechar parcelas con rendimientos agrícolas significativos. En soja no se registró rendimiento debido al nivel de enmalezamiento alcanzado en los ambientes salinos. Por ese motivo, el análisis de rendimiento se restringió al sorgo.

En sorgo se cosecharon 22 parcelas. El rendimiento medio de las parcelas cosechadas fue muy reducido, de 281 kg ha^{-1} , con una elevada variabilidad (desvío estándar de 197 kg ha^{-1}) (Figura 5). Los mayores promedios correspondieron a C y E, con 344 y 339 kg ha^{-1} , respectivamente. A, B y D presentaron 194 , 157 y 219 kg ha^{-1} . En F no hubo parcelas cosechables. Cabe destacar el bajo número de parcelas cosechables por ambiente.

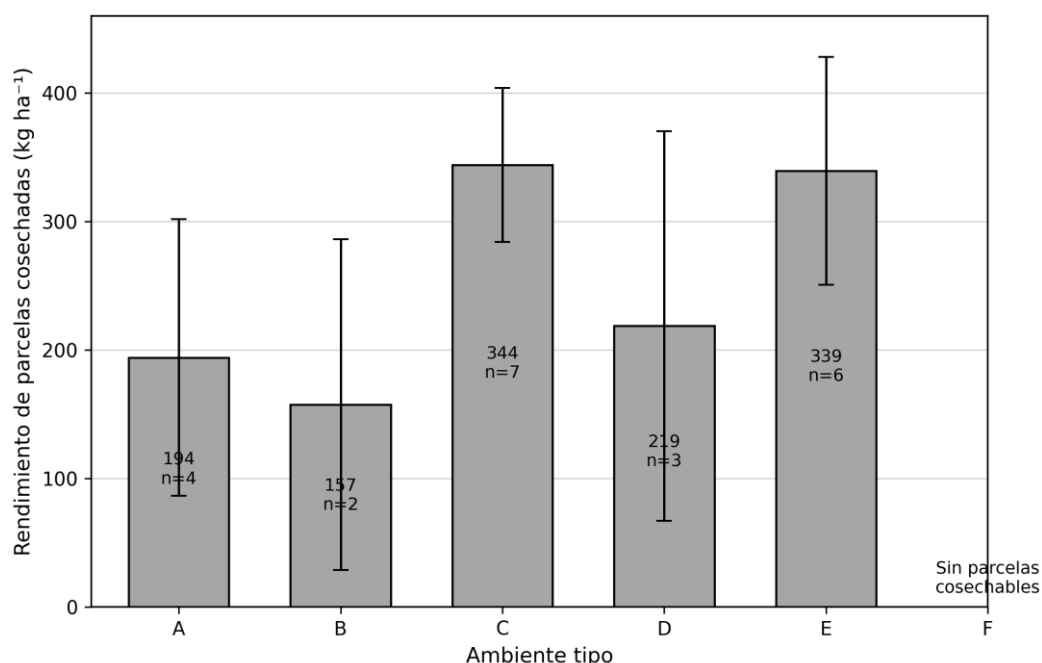


Figura 5. Rendimiento del sorgo en las parcelas efectivamente cosechadas de cada ambiente tipo. Las barras representan la media y las líneas el error estándar; dentro de cada barra se indican el rendimiento medio y el número de parcelas cosechadas. En F no hubo parcelas cosechables. Los promedios no incluyen como cero a las parcelas perdidas o descartadas y se presentan únicamente con fines descriptivos.

DISCUSIÓN E INTERPRETACIONES

Los resultados confirman la existencia de un gradiente edáfico severo y espacialmente heterogéneo en los bajos salino-sódicos típicos del oeste arenoso pampeano. La progresión del pH fue clara desde A hasta F, mientras que la

conductividad eléctrica separó principalmente al ambiente F del resto. En consecuencia, el desempeño de los cultivos debe interpretarse frente a una combinación de alcalinidad, salinidad, cobertura previa, posición en el relieve y antecedentes de manejo, y no como respuesta exclusiva a una sola variable.

La superioridad del sorgo en implantación y crecimiento frente a soja y girasol fue consistente con la tolerancia diferencial esperada. Su ventaja se mantuvo desde ambientes agrícolas hasta bajos alcalinos y salinos, y además se tradujo en mayor competencia frente a malezas. Sin embargo, esa mayor adaptación vegetativa no produjo rendimientos comercialmente relevantes en este ensayo. La elevada supervivencia relativa y la existencia de cosecha en algunos sectores indican potencial de adaptación, pero los bajos rendimientos absolutos muestran que persistieron limitaciones severas al crecimiento del cultivo durante el ciclo.

El ambiente F representó un límite crítico para los tres cultivos: combinó el mayor pH, la mayor conductividad eléctrica y presencia visual de sales en superficie. La emergencia inicial fue mínima y no se sostuvo un crecimiento cosechable. Bajo las condiciones evaluadas, este ambiente no mostró aptitud agrícola para sorgo, girasol o soja sin intervenciones previas que modifiquen las limitantes del suelo.

La respuesta no continua del girasol y del sorgo entre los ambientes C, D y E también es informativa. El ambiente E, pese a su elevada alcalinidad, presentó un coeficiente de logro relativamente alto para girasol y sorgo. Estos resultados no contradicen el gradiente general descripto, sino que evidencian que las categorías ambientales integran factores múltiples y que la conductividad eléctrica media de laboratorio no fue significativamente diferente entre los ambientes A y E. La distribución local de sales, la humedad al momento de la emergencia y la estructura física del suelo pudieron modificar la respuesta de cada parcela.

Finalmente, la anomalía observada en A para girasol y soja requiere atención específica. La hipótesis de carry-over de herbicidas es agronómicamente plausible.

CONCLUSIONES

- Los seis ambientes tipo representaron un gradiente consistente de alcalinidad; el pH aumentó de 5,64 en A a 9,62 en F.
- La salinidad extrema se concentró en F, con una conductividad eléctrica media de 6,66 dS m⁻¹, significativamente mayor que en A-E.
- El sorgo fue el cultivo con mayor coeficiente de logro y mejor crecimiento en todos los ambientes, aunque su ventaja disminuyó marcadamente en F.

- La soja presentó baja capacidad competitiva frente a malezas en los ambientes salinos y no se registró su rendimiento.
- El girasol fijó granos en algunos sectores, pero no desarrolló una estructura que permitiera obtener rendimientos agrícolas significativos.
- El sorgo fue cosechable en sectores de los ambientes A-E, pero los rendimientos medios de las parcelas cosechadas fueron bajos y variables; en el ambiente tipo F no hubo cosecha de ninguna parcela.
- La conductividad eléctrica in situ fue un descriptor útil parcial del gradiente ambiental, mientras que el sensor de pH no sustituyó adecuadamente las determinaciones de laboratorio.
- Los síntomas de girasol y soja en A son compatibles con un posible carry-over de herbicidas, limitando las conclusiones acerca de la performance relativa de estos cultivos en los ambientes agrícolas.

IMPLICANCIAS DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO

- Los resultados indican que el sorgo fue el cultivo mejor adaptado a las limitantes salino-sódicas presentes en los ambientes. Así, priorizar al sorgo, antes que soja o girasol, para transiciones de bajos salinos a agrícolas podría ser recomendable si se desea maximizar la cobertura del suelo. No obstante, los bajos rendimientos cosechados sugieren que obtener cultivos agrícolas rentables sería muy dificultoso.
- Sería recomendable considerar a las zonas representadas por el ambiente tipo F como no aptas para estos cultivos bajo el manejo evaluado y diagnosticar previamente salinidad, sodicidad, profundidad efectiva y dinámica hídrica antes de proponer intervenciones.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Las conclusiones corresponden a dos experimentos realizados en una campaña y en bajos cercanos de un mismo contexto productivo. El análisis conjunto aumentó el número de observaciones disponibles por ambiente tipo, pero no separó efectos de sitio o bloque. El desbalance entre ambientes, la pérdida diferencial de parcelas, el bajo número de unidades cosechadas en algunos ambientes y el condicionamiento de la cosecha impidieron realizar inferencias estadísticas robustas sobre logro y rendimiento. Por lo tanto, los resultados deben utilizarse como caracterización

exploratoria y como base para ajustar nuevos experimentos, no como estimaciones definitivas de respuesta productiva regional.