

Fertilización de Soja en la Provincia de Córdoba Resultados de Ensayos - Campaña 2001/02

Claudio Rubione ¹, Patricia Hernández ², y Esteban Tronfi ³

¹ Chem & Seed S.R.L., Cavallari 1145, (6500) 9 de Julio, Buenos Aires.

² Hydro Agri S.A. y ³ Aceitera Gral. Deheza S.A.

chacramovil@internueve.com.ar

En el marco del Convenio Hydro Agri-AGD-Chem & Seed, en la campaña 2001/02 se realizaron en la provincia de Córdoba cuatro ensayos para evaluar la respuesta a distintos nutrientes y sus combinaciones. Los objetivos de estas experiencias fueron:

1. Evaluar distintos tratamientos de fertilización con Fósforo (P), Azufre (S), Nitrógeno (N) y elementos secundarios como potasio (K), zinc (Zn), boro (B) y cobre (Cu), con el fin de detectar posibles deficiencias nutricionales y su corrección mediante el agregado de fertilizantes.
2. Determinar el efecto de los tratamientos de fertilización sobre la nodulación.

Los ensayos se llevaron a cabo en las localidades de Despeñaderos, Canals, Gral. Deheza y Corralito.

Los tratamientos evaluados en las cuatro localidades (Tabla 1), se dispusieron en un diseño en franjas con testigos apareados, con parcelas de 20 a 40 surcos de siembra distanciados a 52.5 o 70 cm de ancho x 250 a 600 m de largo, según maquinaria y lote, bajo sistema de siembra directa.

Tabla 1. Tratamientos evaluados en los cuatro ensayos de fertilización de soja.

No.	Mezcla	N	P	K	S	Zn	B	Cu	Total Mezcla Fertilizante
		----- kg/ha -----							
1	PS		15		9.9				120
2	NS	8.8	0		10.0				42
3	NP	8.8	15						74
4	NPS	8.8	15		10.0				117
5	Completa	8.8	15	8.6	10.3	1.7	0.3	0.6	130
6	P		15						75

Previo a la siembra, se extrajeron muestras de suelo que fueron remitidas a laboratorio para su análisis.

Los ensayos de las cuatro localidades fueron sembrados con maquinaria del productor. En los ensayos de Despeñaderos y Gral. Deheza, el fertilizante se ubicó por debajo y al costado de la semilla, mientras que en los ensayos de Corralito y Canals los fertilizantes se ubicaron en la línea de siembra. La semilla fue inoculada en todos los ensayos excepto en el ensayo de Gral. Deheza.

Al estado R1-2, se realizó un muestreo de hojas en cada lote y para cada tratamiento, a los fines de chequear la evolución de los mismos en cuanto a posibles diferencias en la nutrición.

Los rendimientos fueron corregidos por humedad (al 13,5%), y recalculados en función del promedio de los testigos que involucraron a cada par de parcelas tratadas, dado que los ensayos fueron realizados en franjas con testigos apareados y sin repeticiones.

Con esos valores calculados, se estudió la respuesta a los distintos fertilizantes en el conjunto de las localidades según la metodología de Box y Wishardt, que asume a cada localidad como una repetición, y dando a ciertas pautas como invariables. La misma permite evaluar tendencias y rangos de confiabilidad de cada prueba realizada.

Resultados

Las Tablas 1 y 2 muestran los análisis de suelo y los niveles nutricionales en hojas al estado R1-2, respectivamente. La Tabla 3 muestra los rendimientos absolutos obtenidos en los tratamientos de fertilización de las cuatro localidades y los promedios para todos los sitios. En el caso del tratamiento Testigo, se promediaron los rendimientos de las cuatro repeticiones.

Tabla 1. Análisis de suelo por localidad y por tratamiento

Sitio	MO	N total	N-nitratos	P	K	S-sulfatos	Ca	Mg	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	----- % -----	----- ppm -----											
Despeñaderos	1.44	0.072	13	10.9	609	8.7	2291	337	0.6	21	19	1.4	0.1
Corralito	1.63	0.082	17	4.8	676	8.3	2150	298	0.4	25	13	1.1	0.1
Deheza	0.91	0.046	17	14.7	801	8.8	1393	227	0.6	33	9	0.7	0.2
Canals	1.95	0.072	27	10.9	609	8.7	2291	337	0.6	21	19	1.4	0.1

Tabla 2. Análisis foliares por localidad y por tratamiento

Tratamiento	N	P	K	S	Ca	Mg	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	----- % -----						----- ppm -----				
Despeñaderos											
Testigo	4.7	0.40	2.5	0.24	1.00	0.35	49	223	84	18	44
P	5.0	0.36	2.6	0.28	0.95	0.35	59	218	98	27	47
PS	5.1	0.38	2.8	0.28	0.99	0.34	48	215	104	15	39
NS	5.1	0.39	1.9	0.27	0.99	0.35	48	231	106	21	39
NP	4.8	0.37	2.5	0.24	1.03	0.36	49	211	98	17	44
NPS	5.0	0.37	2.4	0.35	0.98	0.35	49	242	111	21	51
Completo	5.2	0.40	2.5	0.31	1.02	0.34	52	290	108	30	48
Corralito											
Testigo	5.5	0.36	2.1	0.19	0.96	0.26	41	175	63	3	145
P	5.5	0.42	2.4	0.21	0.79	0.25	43	195	60	23	66
PS	5.6	0.39	2.1	0.22	0.81	0.26	37	227	71	11	82
NS	5.9	0.37	1.5	0.21	0.92	0.26	49	204	71	10	73
NP	5.4	0.38	2.3	0.30	0.86	0.27	40	230	56	21	70

NPS	5.9	0.39	2.0	0.23	0.88	0.26	36	176	77	18	66
Completo	5.9	0.39	2.1	0.25	0.80	0.26	54	230	66	7	65
	Deheza										
Testigo	5.3	0.25	2.3	0.20	0.76	0.32	38	265	93	17	89
P	5.1	0.27	2.3	0.19	0.70	0.31	36	202	79	18	81
PS	4.6	0.26	2.5	0.17	0.78	0.31	46	237	95	17	80
NS	5.2	0.23	2.2	0.21	0.74	0.31	40	218	74	14	87
NP	5.2	0.27	2.3	0.21	0.80	0.35	32	289	105	28	89
NPS	5.0	0.28	2.3	0.25	0.69	0.31	33	212	78	21	89
Completo	5.2	0.32	2.3	0.20	0.71	0.31	35	218	97	17	94
	Canals										
Testigo	5.2	0.31	2.2	0.22	0.52	0.28	49	143	44	5	37
P	5.7	0.34	2.2	0.23	0.57	0.29	43	146	42	2	37
PS	5.3	0.29	2.2	0.24	0.54	0.29	40	141	46	4	35
NS	5.5	0.31	2.2	0.25	0.53	0.30	45	163	50	5	33
NP	5.6	0.34	2.6	0.24	0.58	0.31	42	154	48	5	35
NPS	5.5	0.33	2.4	0.22	0.58	0.31	35	151	45	2	37
Completo	5.6	0.35	2.4	0.23	0.55	0.30	45	148	43	4	38

Tabla 3. Rendimientos obtenidos en los cuatro sitios.

Tratamiento	Canals	Gral. Deheza	Despeñaderos	Corralito	Promedio
	----- kg/ha -----				
Testigo	3157	2465	2274	2958	2713
P	3209	2514	2531	3126	2845
PS	3259	3104	3314	3159	3259
NS	3008	2474	3253	3126	3008
NP	2947	2781	2590	2991	2947
NPS	3034	2359	3374	3126	3034
Completo	3041	2491	3400	3058	3041

1. Ensayo Canals

Según los análisis de suelo, el sitio de Canals presentó bajos niveles de P, S, Zn, manganeso (Mn), hierro (Fe) y B. Según el análisis foliar, en R1 ningún tratamiento manifestó deficiencias claras, pero el Cu fue deficitario en todos los tratamientos.

Los rendimientos muestran respuestas a PS, NP y NPS. Siendo el P común en todos los tratamientos, y deficitario en suelo, la suma de éste más S fue la mezcla que mejores resultados dio con 300 kg de diferencia con el Testigo. Las lluvias si bien no fueron muy abundantes, permitieron el normal desenvolvimiento del cultivo.

2. Ensayo Gral. Deheza

Los niveles en el suelo de N total, materia orgánica, S, Zn, Mn, Cu y B fueron bajos. En cambio, el análisis foliar solo marcó leves deficiencias de S en los testigos, PS y en el completo.

Los rendimientos manifestaron incrementos en PS y NP, siendo en el primer caso de 634 kg/ha y de 300 kg/ha en el segundo. Es de destacar que la semilla de ésta localidad no fue tratada con inoculante y que durante el período de llenado de grano el agua fue limitante, produciendo aborto de flores y vainas.

3. Ensayo Despeñaderos

En esta localidad se encontró la mayor respuesta a la fertilización. En primer lugar, los análisis de suelo mostraron deficiencias en casi todos los nutrientes, destacándose el N total, P y S. Una vez aplicados los productos a la siembra, y al mes de la emergencia, empezaron a visualizarse cambios en el aspecto, en el porte y, por último, en el color de las franjas, siendo verde intenso todas aquellas que incluyeron S. El rendimiento del tratamiento Completo superó en 1126 kg/ha al promedio de los testigos, pero no difirió ni del tratamiento NPSni del PS. La respuesta a S fue la de mayor importancia (diferencias tratamientos PS vs. P), y se observó también respuesta a P (diferencias tratamientos Testigo vs. P). Debe tenerse en cuenta que la disponibilidad de agua durante el llenado de granos fue óptima por lo que la expresión de rendimientos no presentó limitantes hídricas.

4. Ensayo Corralito

Esta localidad presentó los niveles mas bajos de P en el suelo. También los niveles de M.O, S, Zn, Fe, Mn y B fueron deficitarios según las tablas de referencia. A su vez, en el análisis de las hojas, el Testigo mostró deficiencias en S y Cu.

Los rendimientos mostraron al tratamiento PS como el mejor (200 kg superior al testigo), seguido por el NS , NPS y P casi a iguales niveles.

Es posible, que en éste lugar, a diferencia de Despeñaderos, al utilizarse un grupo varietal largo (G VI, AS6401), el abastecimiento de nutrientes fuera suficiente, ya que dispuso de prácticamente un mes más de ciclo de cultivo que el grupo III de Despeñaderos. Por otra parte, en el período crítico, no se manifestaron deficiencias de lluvias.

Respuesta en nodulación

En dos localidades (Despeñaderos y Corralito) se tomaron 10 plantas al azar por cada tratamiento, las cuales se llevaron a laboratorio para determinación de peso seco de nódulos/planta, sin diferenciar si provenían de raíces primarias o secundarias.

Según se puede observar en la Figura 1, hay una tendencia a mejorar la nodulación (peso seco de nódulos por planta) con la fertilización, cualquiera sea la fuente empleada. Los tratamientos NS y NP fueron los que arrojaron valores más bajos entre los tratamientos fertilizados. Si bien las cantidades de N en cada una de las mezclas fue lo suficientemente pequeña como para que no dificulte la nodulación, las diferencias en nodulación podrían atribuirse a diferencias en el pH de los fertilizantes utilizados. Esto destaca la importancia de la ubicación del fertilizante en relación a la semilla.

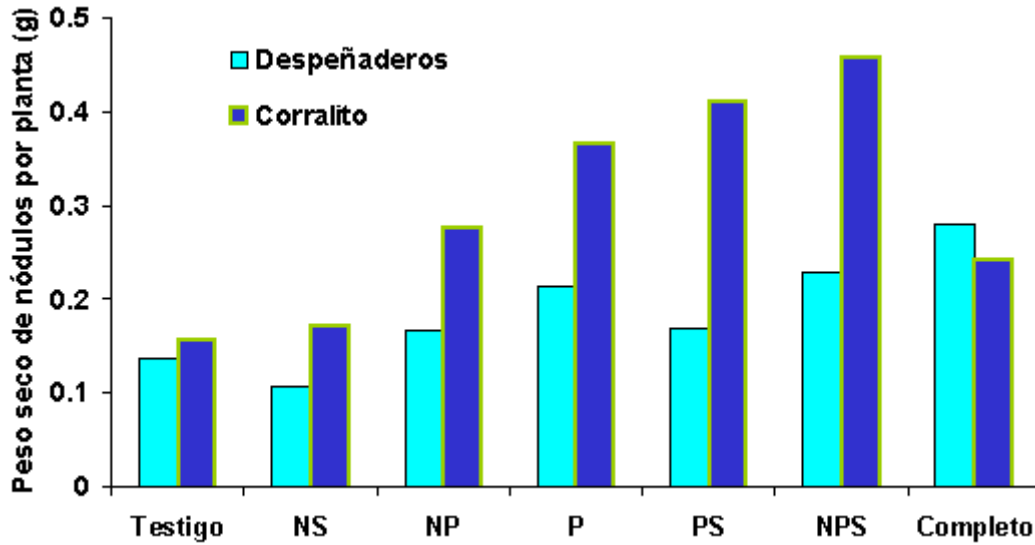


Fig. 1. Nodulación en los seis tratamientos de los ensayos de Corralito y Despeñaderos.

Análisis de rendimientos relativos

El diseño experimental realizado en franjas sin repeticiones, con testigos apareados, impide hacer un análisis estadístico convencional. Sin embargo, haciendo uso de los testigos apareados presentes cada dos tratamientos contiguos se puede hacer una evaluación estadística entre tratamientos. Para ello, se promediaron los dos testigos que estaban apareados a cada par de tratamientos y con los datos de éstos se hizo un cociente, tomando al promedio de testigos como base 100. Tomando como ejemplo la tabla de diseño experimental, las ecuaciones utilizadas fueron:

TEST A	1	2	TEST B	3	4	TEST C	5	6	TEST D
--------	---	---	--------	---	---	--------	---	---	--------

Testigo para
tratamientos 1 y 2 ;
 $T(AB) = (TEST A + TEST B) / 2$
 Rendimiento relativo del
 Tratamiento 1; $RRT1 =$
 $Trat N^{\circ} 1 / T(AB)$
 Rendimiento relativo del
 Tratamiento 2; $RRT2 =$
 $Trat N^{\circ} 2 / T(AB)$
 Rendimiento Corregido
 de Trat N1 = $RCT1 =$
 $RRT1 \times T(AB)$

Tabla 4. Rendimientos absolutos y relativos a los Testigos apareados para cada sitio experimental.

Tratamiento	Despeñaderos	Gral. Deheza	Corralito	Canals	Promedio
-------------	--------------	--------------	-----------	--------	----------

	Absoluto	Relativo	Absoluto	Relativo	Absoluto	Relativo	Absoluto	Relativo	Absoluto	Relativo
TA	2350	2275	2641	2465	2990	2923	3174	3157	2789	2705
1 : PS	3314	3314	3104	2882	3159	3197	3461	3400	3260	3198
2 : NS	3253	3388	2474	2297	3126	3163	3181	3125	3009	2993
TB	2380		2669		2923		3254		2807	0
3 : NP	2590	2491	2781	2724	2991	2993	3429	3318	2948	2882
4 : NPS	3374	3374	2359	2326	3126	3124	3280	3174	3035	3000
TC	2169		2332		2923		3272		2674	0
5 : COM.	3400	3270	2491	2699	3058	3056	3218	3277	3042	3076
6 : P	2531	2663	2514	2724	3126	3128	3209	3268	2845	2946
TD	2199		2219		2996		2929		2586	0

Una vez obtenidos esos índices, y utilizando el rendimiento promedio de los testigos, se multiplicó a éste por el índice de cada tratamiento para obtener un valor comparable de rendimiento estimado (rendimiento relativo). Con ese resultado, llegamos a que las conclusiones sacadas para cada localidad no difieren en mucho de aquellas hechas con los rendimientos absolutos de cosecha, pero es a partir de éstos datos aquí elaborados en donde el rendimiento corregido en cada parcela es comparable con sus pares y a través de la serie de ensayos. Si comparamos los resultados de nodulación (Figura 1) con los rendimientos de la Tabla 4, podemos diferenciar dos grandes grupos que dividen rendimientos: por un lado los mejores tratamientos; PS; NPS y Completo; y por el otro P, NS y NP, con menores rendimientos.

Para evaluar estadísticamente diferencias entre tratamientos agrupando los cuatro ensayos, se procedió a calcular la mediana aritmética y los desvíos de cada variable en lugar de los promedios. La mediana es una medida de posición que separa el conjunto de variables por mitades que contienen al 50 % de las frecuencias cada una.

El esquema de la Fig. 2 (gráfico de Box y Wishardt, llamado también de "cajas y bigotes"), asume a cada localidad como un repetición de los tratamientos, siempre que se cumplan otros supuestos, y reúne en la "caja" al 50% de los datos (datos por el 1^{er} y 3^{er} cuartil). En su interior, está representada la mediana (valor que corta en 50%). A su vez, los extremos "bigotes", marcan la dispersión de cada tratamiento, y expresan así la "confianza" que se le puede tener a cada tratamiento (cada mezcla propuesta), siendo que cuanto más distantes se encuentren los extremos, más errática resulta la respuesta. Por su parte a cajas más compactas, resultados más estables y seguros.

Kg/ha

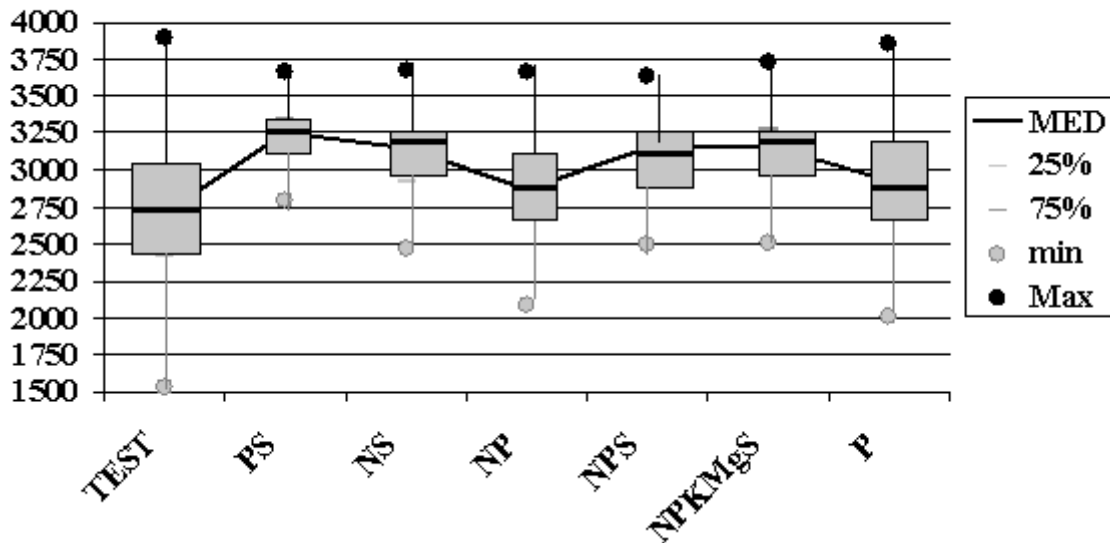


Fig. 2. Gráfico de Box y Wishart o de "cajas y bigotes" para los rendimientos de soja de las cuatro localidades.

Se puede ver que el Testigo presenta su mediana 500 kg por debajo del mejor tratamiento, o sea el tratamiento PS; de éste al que sigue, Completo, hay 92 kg, que no lo diferencian prácticamente de NPS y NS. Se puede observar que las cajas y los bigotes de los últimos mencionados, son las más chicas, destacándose otra vez la de PS. En oposición, las de P, NP y el Testigo tienen las cajas más grandes y las mayores dispersiones, aunque las medianas de los dos primeros, superan a la del Testigo.

Los mejores tratamientos incluyeron al S como denominador común, el cual no solo mejoró los rendimientos, sino que también los estabilizó, a partir de las dispersiones que se ven en cada tratamiento.

Los resultados se vieron afectados en algunos casos debido a la falta de agua durante una etapa ontogénica de gran importancia R5, en donde la planta alcanzó su máxima altura, número de nódulos e índice de área foliar. También se produce la máxima tasa de fijación biológica de N y comienza la acumulación rápida de nutrientes en el grano.

Otro tema de singular importancia, que gravitó en los resultados, es el referido al ciclo de cultivo elegido en cada localidad. En Canals, Gral. Deheza y Corralito se utilizaron grupos de maduración varietal 5.9 a 6.4, pero en Despeñaderos se sembró un grupo 3.6. Este hecho, evitó que la ocurrencia de R5 para Despeñaderos fuera en un período seco, por lo que el cultivo respondió ante la presencia de fertilizantes. En los otros casos, los largos períodos de llenado de granos, sin duda ocurrieron en momentos de baja disponibilidad de agua, siendo así que la cantidad de destinos logrados en los tratamientos, no pudieran ser llenados, de ahí que se observó una menor cantidad de granos por vaina, aunque se observaron mayor cantidad de vainas por plantas en los tratamientos fertilizados en general. Esto también fue manifiesto en el porte de los cultivos fertilizados, como a su vez en el color (verde más oscuro).

Conclusiones

Las respuestas si bien fueron variables entre las mezclas de fertilizante usadas, el promedio en el ensayo superó los 550 kg/ha. Esto se debió en primer término al nutriente P, y luego el agregado de S generó las mayores respuestas respecto a los testigos. La mezcla compuesta por PS fue la de mayores resultados absolutos y relativos, y se mostró en la serie de ensayos como la más estable y segura. Por

otro lado la fertilización aumentó el peso seco de los nódulos por planta, si bien los tratamientos tanto de NS como NP dieron recuentos bajos de nódulos por planta, debido probablemente al ambiente ácido que proporcionaron las mezclas en el entorno de la semilla.

Agradecimientos

- A los productores René Rivoira, Gustavo Esmoriz y Carlos Ulagnero.
- A los responsables de planta de AGD: Ing. Agr. Marcos Scully, Ing. Agr. Daniel Bourges, Sr. Gustavo Tobanelli e Ing. Agr. Rosario Pérez Arguindeguy.
- Al Ing. Agr. Gustavo González Anta y sus colaboradores de campo, de Rizobacter, por su apoyo en el recuento de nódulos .
- A Hydro Agri y AGD por confiarnos éste trabajo

Bibliografía

- Montgomery D. y Runger G., 1995. Probabilidad y Estadística aplicada s al Ingeniería.. Ed. Mc Graw Hill. Ed.1996.
- Giorda L., y Baigorri H., 1977. El Cultivo de soja en la Argentina Editado INTA Centro Regional Córdoba. EEA Márcos Juárez-EEA Manfredi. Editorial: Editar.

Vea este y otros trabajos en el sitio oficial de [INPOFOS Cono Sur](#).