



LA NUTRICIÓN COMO HERRAMIENTA PARA ALCANZAR LOS RENDIMIENTOS POTENCIALES EN SOJA

Ferraris, G.^{1*}; Couretot, L.¹; García, L.²; Navarro, M.²

¹INTA Pergamino, ²Monsanto Argentina SA

* ferraris.gustavo@inta.gov.ar. AvFrondizi km 4,5 (B2700WAA) Pergamino

INTRODUCCIÓN

La soja es el cultivo más importante de nuestro país, cubriendo una superficie implantada superior a los 20 millones de hectáreas, lo que representa un 53% de los suelos agrícolas (SIIA, 2014). En este cultivo, el potencial genético difiere del alcanzado por los mejores productores i.e. en los concursos de rendimiento se alcanzaron de alrededor de 7000 kg ha⁻¹ (AIANBA), y notablemente más de la media nacional, que alcanzara un máximo histórico de 2971 kg ha⁻¹ en la campaña 2006/07 (SIIA, 2014).

En ausencia de limitantes, el rendimiento depende la oferta de radiación y temperatura que ofrece un ambiente en particular. Sin embargo, en la práctica, existen factores limitantes (agua y nutrientes) y factores reductores del rendimiento (adversidades bióticas y abióticas (Rabbinge, 1993). La exacta sincronización ambiente-cultivar-manejo, es decisiva para explicar los rendimientos máximos que se logran hoy en la Argentina (Rossi, 2013). Dentro de las variables de manejo, la nutrición es un aspecto relevante. La Región pampeana Argentina ha sido sometida a un intenso proceso de extracción, disminuyendo el contenido de carbono (C), fósforo (P), azufre (S) y micronutrientes de los suelos (Sainz Rozas et al., 2012). Estrategias de mediano plazo logran revertir esta tendencia (Ferraris et al., 2012). No obstante, es posible elaborar estrategias de nutrición balanceada, que en el corto plazo permitan acercarse a una condición nutricional de suficiencia. Esto integrado dentro de un esquema que optimice otros aspectos del manejo, permitiría acercarse a los rendimientos máximos alcanzables para un ambiente en particular.

El objetivo de este experimento es ajustar tecnologías referidas al manejo del cultivo de soja, y cuantificar como impactan en la ganancia genética obtenida por la introducción de nuevas variedades. Hipotetizamos que, en dos genotipos de diferente momento de liberación, el efecto de fecha de siembra (FS), nutrición del cultivo, densidad y protección así como sus interacciones afectan la productividad del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se implantó en la localidad de Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, de muy buena productividad. La siembra se efectuó en dos fechas, los días 23 de noviembre y 21 de Diciembre, con la variedades DM 4612 RR y DM 4670 RR, mediante una sembradora experimental de cono con dosificación neumática. La primera siembra se realizó en hileras espaciadas a 0,525 m, y la segunda con un distanciamiento de 0,40 m. El sitio experimental registra una rotación agrícola continua con varios cultivos de soja en la secuencia. El antecesor fue maíz. El diseño del ensayo correspondió a bloques completos al azar con cuatro repeticiones y once tratamientos. Los detalles de los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Esquema de tratamientos evaluados

20 pl/m ²	30 pl/m ²	20 pl/m ²	20 pl/m ²	20 pl/m ²						
T7	T5	T8	T11	T3	T9	T2	T6	T1	T4	T10
Inc+Ins+Fung	Inc+Ins+Fung	Inc		Inc+Ins+Fung		Inc+Ins+Fung	Inc+Ins+Fung	Inc+Ins+Fung	Inc+Ins+Fung	
PSMicros	PSMicros	PSMicros		P	PSMicros	PS	PSMicros	PSMicros	PSMicros	
Fung foliar	Fung foliar	Fung foliar		Fung foliar						
DM 4612	DM 4670	DM 4612	DM 4670	DM 4612						
T7	T5	T8	T11	T3	T9	T2	T6	T1	T4	T10
Inc+Ins+Fung	Inc+Ins+Fung	Inc		Inc+Ins+Fung		Inc+Ins+Fung	Inc+Ins+Fung	Inc+Ins+Fung	Inc+Ins+Fung	
PSMicros	PSMicros	PSMicros		P	PSMicros	PS	PSMicros	PSMicros	PSMicros	
Fung foliar	Fung foliar	Fung foliar		Fung foliar						
DM 4612	DM 4670	DM 4612	DM 4670	DM 4612						
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Inc+Ins+Fung	Inc									
PSMicros	PS	P		PSMicros	PSMicros	PSMicros	PSMicros	PSMicros	PSMicros	
Fung foliar										
DM 4612	DM 4612	DM 4612	DM 4612	DM 4670	DM 4612	DM 4670				
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Inc+Ins+Fung	Inc									
PSMicros	PS	P		PSMicros	PSMicros	PSMicros	PSMicros	PSMicros	PSMicros	
Fung foliar										
DM 4612	DM 4612	DM 4612	DM 4612	DM 4670	DM 4612	DM 4670				
20 pl/m ²	30 pl/m ²	20 pl/m ²								

En R4 se realizó una estimación indirecta del contenido de N por medio del medidor de clorofila Minolta Spad 502, la cobertura mediante procesamiento de imágenes digitales, y el vigor a través de un índice cuantitativo de calidad del cultivo. En R6 se determinó la altura de plantas con síntomas (APS%) de enfermedades de final de ciclo, expresado como porcentaje de la altura total. A cosecha se evaluó el vuelco y la altura final de plantas. La recolección se realizó con una cosechadora experimental automotriz. Sobre una muestra de cosecha se determinaron los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (PG). Los resultados fueron analizados por partición de la varianza, comparaciones de medias y análisis de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones ambientales fueron apropiadas para el cultivo. En la primera FS, a pesar de registrarse un período sin precipitaciones, las reservas acumuladas hicieron que no llegara a manifestarse déficit hídrico. Para la segunda fecha, el ambiente de cultivo fue muy favorable, alejando la posibilidad de estar sometido a algún tipo de estrés. El lote contaba al inicio del experimento con baja disponibilidad de MO – 2,6 %-, P –8 mg kg⁻¹-, S -5,7 mg kg⁻¹- y algunos micronutrientes como Zinc –0,52 mg kg⁻¹-, y Boro –0,45 mg kg⁻¹-, pudiendo caracterizarse como un ambiente de baja fertilidad.

Se determinó interacción significativa entre FS y tratamiento (P=0,0059, CV=9,28) (Tabla 2). Por este motivo, los efectos de tratamiento dentro de cada FS deberán estudiarse por separado.

Tabla 2: Análisis de la interacción fecha de siembra * tratamiento de tecnología. Pergamino, campaña 2012/13

Source	DF	SS	MS	F	P
bloque	3	2921775	973925		
tratamien	10	2917264	291726	1.70	0.1013
FS	1	2.290E+07	2.290E+07	133.16	0.0000
tratamien*FS	10	4855931	485593	2.82	0.0059
Error	63	1.083E+07	171977		
Total	87	4.443E+07			
Grand Mean		4468.1	CV	9.28	

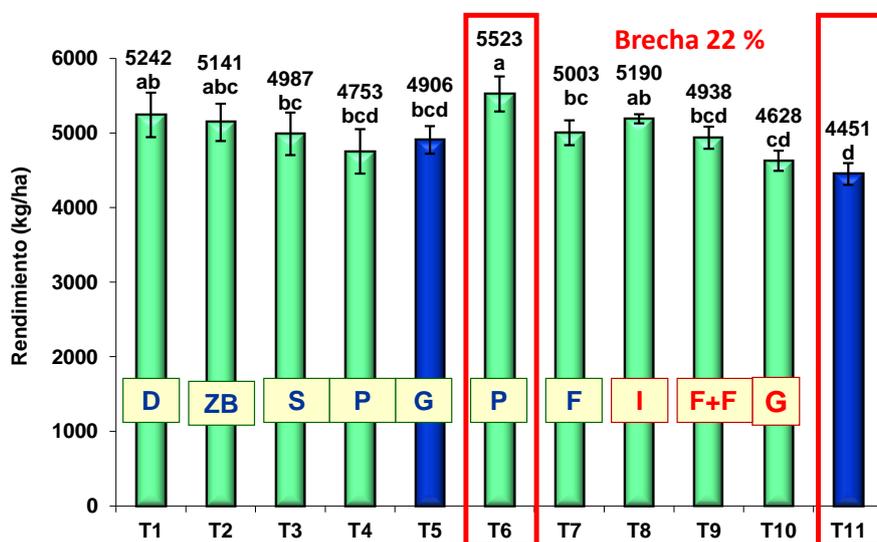
Primera fecha

En la Tabla 3 se presentan los resultados de diversas variables determinadas durante el ciclo de cultivo, y en la Figura 1 el rendimiento de grano.

Tabla 3: Densidad, altura de planta (cm), Índice de Vigor, altura (cm), Cobertura, Índice verde (Unidades Spad), vuelco, APS y componentes del rendimiento. Contribución de tecnologías a los rendimientos potenciales en Soja. **Primera fecha de siembra.** Pergamino, campaña 2012/13.

Trat.	Altura (cm)	Vigor R4	Cobertura R4	Spad R4	Vuelco R5,5	APS (%)	NG	PG
T1	85,0	3,5	93,5	41,8	1	14,2	2863	183,1
T2	91,0	3,7	92,5	41,5	1	6,4	2837	181,2
T3	89,5	3,8	93,0	43,3	1	15,6	2708	184,1
T4	96,0	3,7	91,5	40,9	1	10,8	2670	178,0
T5	84,0	3,8	95,0	41,7	1	17,0	2607	188,2
T6	97,0	4,0	93,0	42,8	1	6,2	2938	188,0
T7	90,0	3,7	92,5	43,2	1	25,4	2636	189,8
T8	86,0	3,7	93,5	43,5	1	16,6	2790	186,0
T9	87,5	3,5	91,5	42,6	1	8,8	2588	190,8
T10	94,0	3,7	89,0	41,7	1	30,0	2494	185,6
T11	88,0	3,5	89,3	41,3	1	34,2	2424	183,6

R4 (vaina de máximo tamaño) y R5,5 (granos a mitad de llenado) de acuerdo a la escala de Fehr y Caviness, 1974. Índice de Vigor: Según escala 1: mínimo – 5: máximo. Evalúa Sanidad, tamaño de planta y uniformidad de las parcelas. Vuelco: Según escala 1: todas las plantas erectas – 5: todas las plantas volcadas. APS Altura de planta con síntomas de Mancha marrón, (*Septoria glycines*).



Tratamiento de Intensificación

Figura 1: Rendimiento de grano de soja según factores de producción. En rojo, tecnología aditiva aportada por cada tratamiento. G: genética, F+F: fertilizante y fungicida, I: inoculante. En azul, tecnología quitada en el tratamiento, en comparación con el potencial. P: potencial, D: densidad, ZB: zinc y boro, S: azufre, P: fósforo, F: fungicida biológicos y de fertilización fósforo-azufrada. Pergamino, campaña 2012/13. Para un detalle de los tratamientos, ver esquema de Tabla 1. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD $\alpha = 0,05$). Las líneas de error indican la desviación standard de la media.

Tabla 4: Contrates ortogonales y aporte cuantitativo según tecnología aplicada

Contraste	Tratamientos comparados	Factor de producción	Significancia (Prueba de T)	Factor Mayor rendimiento	Diferencia aportada (kg/ha)
1	T6, T11 vs T5, T10	DM 4612 vs DM 4670 todos	P=0,95	DM 4612RR	397
2	T10 vs T11	DM 4612 vs DM 4670 En baja tecnología	P=0,35	DM 4612RR	177
3	T6 vs T5	DM 4612 vs DM 4670 En alta tecnología	P=0,36	DM 4612RR	617
4	T9 vs T10	PSZnB + F Foliar en baja tecnología	P=0,46	PSZnB + Ffoliar	310
5	T8 vs T9	Inoculación	P=0,04	Inoculado	253
6	T6 vs T1	Densidad	P=0,06	Densidad alta (30 pl/m ²)	281
7	T1 vs T2	Micronutrientes (ZnB)	P=0,02	Zn + B	102
8	T3 vs T2	Azufre	P=0,48	Azufre	154
9	T4 vs T3	Fósforo	P=0,01	Fósforo	234
10	T1 vs T7	Fungicida foliar	P=0,19	Fungicida foliar	240

Segunda fecha

En la Tabla 5 se presentan los resultados de diversas variables determinadas durante el ciclo de cultivo, y en la Figura 2 el rendimiento de la segunda fecha.

Tabla 5: Densidad, altura de planta (cm), Índice de Vigor, altura (cm), Cobertura, Índice verde (Unidades Spad) vuelco, APS y componentes del rendimiento. Contribución de tecnologías a los rendimientos potenciales en Soja. **Segunda fecha de siembra.** Pergamino, campaña 2012/13.

Trat.	Altura (cm)	Vigor R4	Cobertura R4	Spad R4	Vuelco R5,5	APS (%)	NG	PG
T1	70,5	3,4	92,0	41,6	1	37,5	2373,3	183,5
T2	72,5	3,5	90,0	40,5	1	24,4	2104,4	192,5
T3	71,0	3,5	92,5	41,3	1	29,6	2037,7	198,0
T4	72,0	4,0	96,0	41,5	1	22,8	1919,2	189,0
T5	66,5	3,6	90,5	39,3	1	31,0	2191,0	187,0
T6	66,0	3,4	91,0	41,2	1	23,2	2340,9	195,0
T7	63,5	3,2	87,0	40,1	1	41,4	1962,7	202,5
T8	64,0	3,6	93,5	39,8	1	33,6	2051,8	194,5
T9	63,5	3,1	89,5	39,2	1	24,8	1896,7	196,0
T10	65,0	3,4	94,0	38,1	1	45,0	1865,4	188,5
T11	62,5	3,3	95,0	38,5	1	44,2	2010,5	179,5

R4 (vaina de máximo tamaño) y R5,5 (granos a mitad de llenado) de acuerdo a la escala de Fehr y Caviness, 1974.

Índice de Vigor: Según escala 1: mínimo – 5: máximo. Evalúa Sanidad, tamaño de planta y uniformidad de las parcelas.

Vuelco: Según escala 1: todas las plantas erectas – 5: todas las plantas volcadas.

APS Altura de planta con síntomas de Mancha marrón, (*Septoria glycines*).

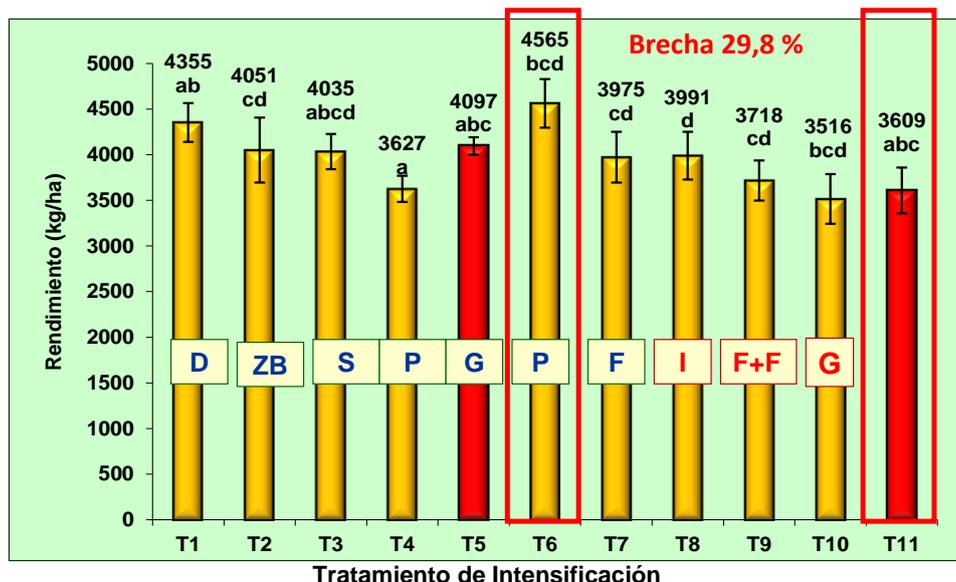
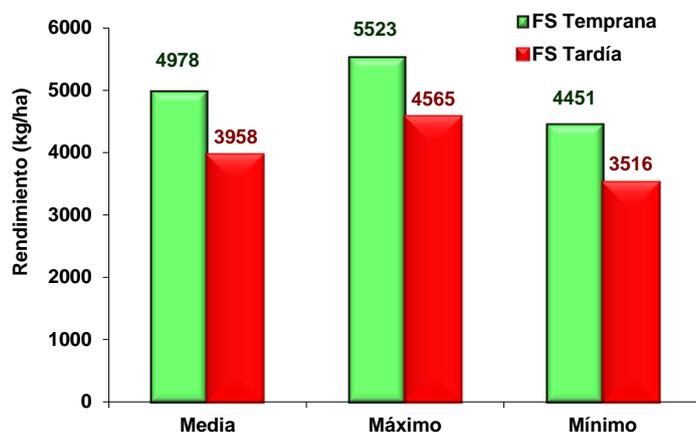


Figura 2: Rendimiento de grano de soja según factores de producción.

En rojo, tecnología aditiva aportada por cada tratamiento. G: genética, F+F: fertilizante y fungicida, I: inoculante. En azul, tecnología quitada en el tratamiento, en comparación con el potencial. P: potencial, D: densidad, ZB: zinc y boro, S: azufre, P: fósforo, F: fungicida biológicos y de fertilización fósforo-azufrada. Pergamino, campaña 2012/13. Para un detalle de los tratamientos, ver esquema de Tabla 1. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos ($LSD \alpha = 0,05$). Las líneas de error indican la desviación standard de la media.

Tabla 6: Contrastes ortogonales y aporte cuantitativo según tecnología aplicada

Contraste	Tratamientos comparados	Factor de producción	Significancia (Prueba de T)	Factor Mayor rendimiento	Diferencia aportada (kg/ha)
1	T6, T11 vs T5, T10	DM 4612 vs DM 4670 todos	P=0,15	DM 4612RR	188
2	T10 vs T11	DM 4612 vs DM 4670 En baja tecnología	P=0,76	DM 4670RR	-93
3	T6 vs T5	DM 4612 vs DM 4670 En alta tecnología	P=0,10	DM 4612RR	468
4	T9 vs T10	PSZnB + F Foliar en baja tecnología	P=0,52	PSZnB + Ffoliar	201
5	T8 vs T9	Inoculación	P=0,39	Inoculado	273
6	T6 vs T1	Densidad	P=0,50	Densidad alta (30 pl/m ²)	210
7	T1 vs T2	Micronutrientes (ZnB)	P=0,23	Zn + B	304
8	T3 vs T2	Azúfre	P=0,69	Azúfre	16
9	T4 vs T3	Fósforo	P=0,12	Fósforo	407
10	T1 vs T7	Fungicida foliar	P=0,33	Fungicida foliar	389



Nivel tecnológico	Media	Máximo	Mínimo
	Brecha (Temp-Tardía) días	1020	958
Pendiente (kg/día)	28	28	28

Figura 3: Rendimiento de grano de soja según FS y nivel de producción.

Pergamino, campaña 2011/12. La pendiente indica la pérdida de rendimiento por día de atraso, considerando el rendimiento mínimo, medio y máximo para cada FS.

Se determinaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en la primera (P=0,01; cv=7,18%) y segunda (P=0,05; cv= 11,1%) FS, respectivamente.

En la primera fecha, la brecha tecnológica atribuible a los factores evaluados fue significativa y alcanzó al 22 %. En la segunda, la brecha fue igualmente significativa, y de una magnitud del 29,8 %. Determinan esta mayor magnitud porcentual el menor rendimiento de partida, y el mayor peso de factores reductores del rendimiento en siembras tardías, como las enfermedades, deficiencias de fósforo o micronutrientes (Figura 2). En cambio, la genética pareciera limitar los rendimientos en mayor medida en alta tecnología y siembras tempranas (Figura 1).

Evaluado mediante contrastes, la inoculación, alta densidad de siembra, la fertilización con fósforo y con micronutrientes (Zn y B) fueron los factores con efecto significativo sobre los rendimientos en la **primera FS**, en comparación con los tratamientos sin ese factor (Tabla 3). En la segunda fecha, como era de esperar, la variabilidad de los rendimientos aumenta y a pesar de una brecha relativamente mayor, sólo el cambio de variedad en alta tecnología incrementó los rendimientos en forma significativa (Tabla 4).

A modo de tendencia, **en la fecha temprana** el cambio de variedad en el tratamiento completo (comparación 3), y el agregado conjunto de PSZnB y fungicida foliar (comparación 4) permitieron obtener diferencias relevantes en los rendimientos. En la **segunda fecha** se obtuvo lo mismo por la fertilización fosforada, el uso foliar de fungicida, la aplicación de microelementos y la inoculación con bacterias fijadoras de N.

Los rendimientos fueron diferentes según FS (P=0,00; Figura 3). La pendiente de caída en los rendimientos medios de cada fecha fue de 36,4 kg/ha/día, sin diferencias en el rendimiento máximo (34,2) o mínimo por baja adopción tecnológica (33,4) (Figura 3).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis propuesta: existen tecnologías con impacto directo sobre los rendimientos que permiten explicar la brecha tecnológica existente entre diferentes sistemas de producción. La fertilización demostró jugar un rol clave en pos de alcanzar los rendimientos potenciales en soja, especialmente en fechas de siembra temprana y con alto nivel de rendimiento. Con este fin, N, P y los microelementos Zn y B fueron los nutrientes de impacto significativo en los rendimientos.

AGRADECIMIENTOS

A Monsanto Argentina SA, y al Proyecto del Territorio Agrícola INTA-CRBAN por el financiamiento

BIBLIOGRAFÍA

Ferraris, G., M. Toribio, R. Falconi, y L. Couretot .2012. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos y el balance de nutrientes. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 6:2-6. IPNI Cono Sur. Acassusso, Buenos Aires.

Rabbinge, R. 1993. *The Ecological Background in Food Production*. En *Crop Protection and Sustainable Agriculture*, D. J. Chadwick y J. Marsh (Eds.). John Wiley and Sons.

Sainz Rozas, H., Eyherabide, M., Echeverría, H., Barbieri, P., Angelini, H., Larrea, G., Ferraris, G.N. y Barraco, M. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? 62-72. En: García y Correndo (eds) *Simposio Fertilidad 2013. Nutrición de cultivos para la intensificación productiva sustentable*. - 1a ed. 314 pp. IPNI Cono Sur,

Rossi, R. 2013. La contribución del mejoramiento genético para la obtención de altos rendimientos en soja pp 38-43. En: García y Correndo (eds) *Simposio Fertilidad 2013. Nutrición de cultivos para la intensificación productiva sustentable*. - 1a ed. 314 pp. IPNI Cono Sur, Rosario, Santa Fe, 2013. Pen Drive.

SIIA, Sistema integrado de información agropecuaria. 2014. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. <http://www.sii.gov.ar>, consultado el 17/02/14.