



VARIACION EN LA RESPUESTA A LA FERTILIZACION EN SOJA SEGUN AÑO CLIMATICO, FECHA DE SIEMBRA Y GRUPO DE MADUREZ

Gustavo Ferraris¹, Fernando Mousegne²

Palabras clave: Soja, grupo de madurez, fecha de siembra, fertilización interacción genotipo x ambiente x manejo

La interacción genotipo x ambiente explica la mayor parte de la variación en los rendimientos de Soja en Argentina. Mientras el genotipo podría abarcar un rango amplio considerando diferentes grupos de maduración (GM), el ambiente abarca aspectos de suelo, clima y manejo. El concepto de ambiente es modificable mediante diferentes prácticas de manejo, entre ellas la fertilización. Este trabajo estudia un aspecto de dicha interacción para la región núcleo, al evaluar en dos campañas la variación conjunta sobre los rendimientos que expresan los grupos de madurez (GM), la fecha de siembra (FS) y la fertilización.

INTRODUCCION

Los rendimientos de soja dependen del germoplasma de la variedad, el manejo y el ambiente en el que se desarrolla el cultivo (Ferraris y Mousegne, 2016). Este último se caracteriza por aspectos propios del sitio y sólo modificables en el largo plazo (suelo) y otros factores que manifiestan una variabilidad interanual (clima). El manejo forma parte del ambiente, siendo los factores más determinantes el grupo de maduración (GM) y la fecha de siembra (FS).

Tradicionalmente se ha asociado la respuesta a la fertilización en soja con variables de suelo como el nivel de fósforo (P) disponible, el contenido de materia orgánica y azufre (S) extractable (Ferraris y Mousegne, 2016), o de planta como la concentración absoluta, relativa o curvas de dilución de nutrientes en biomasa (Divito *et al.* 2016). No obstante, en igual condición de fertilidad el cultivo podría expresar una respuesta diferencial según diferentes aspectos de manejo que modulan la oferta de radiación, temperatura y agua durante el período crítico, la acumulación de biomasa y el índice de cosecha. Este abordaje integral de la práctica, considerando la fertilización como una herramienta más para no limitar la productividad del cultivo fue utilizado en reiteradas ocasiones en otros países relevantes para la producción de soja, como EEUU (Orlowski *et al.*, 2016, Edreira

et al., 2017) o Brasil (Moreira *et al.*, 2017; Battisti *et al.*, 2018.a; b).

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la variabilidad de la respuesta a la fertilización completa, con PS y micronutrientes según año climático, GM y FS. La hipótesis de trabajo postula que la respuesta a la fertilización es afectada por variables de suelo pero también de cultivo, limitando la posibilidad de establecer recomendaciones generales. Se propone realizar recomendaciones de fertilización sitio-específicas, integrando aspectos como reserva hídrica inicial, pronóstico climático, FS y GM. Una adecuación en las condiciones de manejo significa, para un mismo nivel de fertilidad, una mejora en la expectativa de respuesta positiva al agregado de nutrientes.

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron dos experimentos de campo en sendas campañas agrícolas en el campo experimental de la EEA INTA Pergamino (S 33°57'09" W 60°34'12") sobre suelos de la Serie Pergamino, Argiudol típico Clase de Uso 1-2. Algunas características de sitio y manejo de los experimentos se presentan en la Tabla 1.

El diseño utilizado fue el de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Los tratamientos, cuya descripción se presenta en la Tabla 2, se dispusieron en arreglo factorial de cinco genotipos de

1- Manejo de Cultivos INTA EEA Pergamino, 2- ER San Antonio de Areco.

* ferraris.gustavo@inta.gob.ar

Tabla 1. Características de sitio y manejo de los experimentos.

Año -Sitio	Fecha de siembra	Esp. e/ hileras (m)	Densidad de siembra
Pergamino 2016/17	11-Nov 1-Dic	0,40	35 pl m ⁻²
Pergamino 2017/18	15-Nov 21-Dic	0,40	35 pl m ⁻²

Tabla 2. Tratamientos evaluados en el experimento.

FS: temprana (noviembre) y tardía (diciembre)

		Fertilización	
		Control	P 20 + S 15 + Zn 0,7 + B 0,1
Grupo Maduración	GM III C	X	X
	GM III L	X	X
	GM IV C	X	X
	GM IV L	X	X
	GM V C	X	X

P20: Superfosfato Triple de calcio (0-20-0) 100 kg ha⁻¹**S15:** Sulfato de calcio (0-0-0-S18) 83 kg ha⁻¹**Tabla 3.** Análisis de suelo al momento de la siembra (0-20 cm).

Localidad	P Bray I (0-20 cm)	MO (0-20 cm)	S-Sulfatos (0-20 cm)	pH	Zn	B
	(mg kg ⁻¹)	(%)	(mg kg ⁻¹)			
Pergamino 2016/17	10,6	2,92	7,8	5,7	0,66	0,51
Pergamino 2017/18	14,2	3,02	5,8	5,7	0,98	0,73

diferente GM, dos FS y dos niveles de fertilización. Estos consistieron en un control no fertilizado y su contraste, un tratamiento completo con P, S, y los micronutrientes Zinc (Zn) y Boro (B). Se fertilizó de manera balanceada para favorecer las interacciones positivas entre diferentes elementos (Singh et al., 2018; Suman et al., 2018). Para caracterizar el sitio, se realizó un análisis de suelo en cada campaña hasta 20 cm de profundidad (Tabla 3), y se midió el contenido hídrico hasta los 150 cm (Figura 1).

La recolección se realizó con una cosechadora experimental automotriz. Los resultados fueron analizados por partición de la varianza y comparaciones de medias, evaluando los efectos Año, GM, FS, Fertilización y sus interacciones. El efecto año representa una valoración conjunta del clima y suelo del sitio. Se utilizó un análisis de componentes principales para relacionar el efecto año y tratamiento de fertilización con GM.

RESULTADOS Y DISCUSION

Condiciones ambientales del período experimental

Ambas campañas plantearon escenarios contrastantes. En el ciclo 2016/17 las precipitaciones fueron abundantes y el cultivo no expresó carencias durante toda la estación de crecimiento, independientemente de la FS y el GM utilizado. Las copiosas precipitaciones no afectaron el cultivo, por tratarse de un relieve alto y con pendiente. Por el contrario, en el segundo año las lluvias fueron más limitadas, y las reservas se fueron agotando hacia finales de ciclo. Esto determinó una fuerte interacción con FS y GM, ya que la fecha tardía y los ciclos más largos completaron el llenado en condiciones más desfavorables.

Efecto de interacciones y tratamientos

El análisis de la varianza (ANOVA) permite determinar efecto significativo de Año, FS, fertilización ($P < 0,0001$) y GM ($P = 0,008$). Curiosamente,

Tabla 4: Cuadro de análisis de varianza para rendimiento.

Factor de Variación	p-valor
Modelo.	<0,0001
Bloque	0,7309
Año	<0,0001
FS	<0,0001
GM	0,0082
Fertilización	<0,0001
Año*FS	<0,0001
Año*GM	0,0801
Año*Fertilización	0,0791
FS*GM	<0,0001
FS*Fertilización	0,9081
GM*Fertilización	0,0575
Año*FS*GM*Fertilización	0,3189
CV=12,23%	

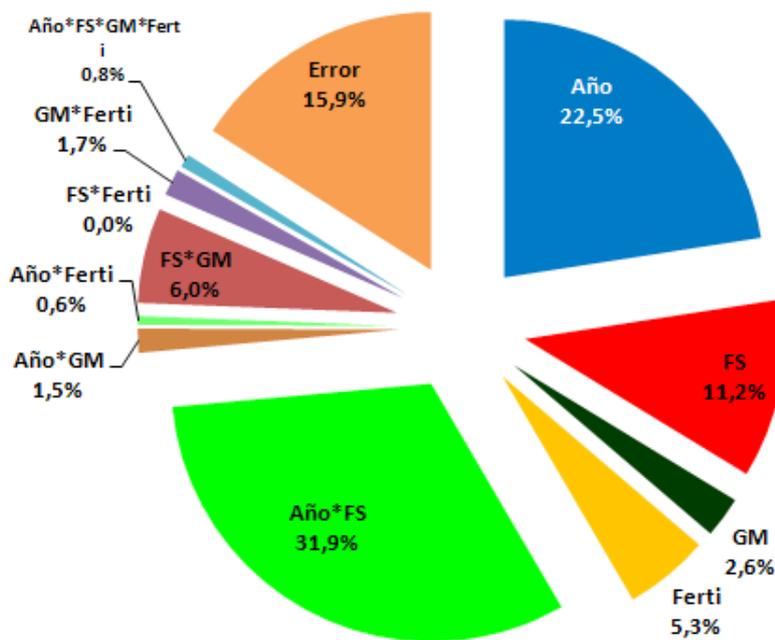


Figura 1. Participación de los efectos de Año, FS, GM, Fertilización y sus interacciones para rendimiento. Campañas 2016/17 y 2017/18.

no hay efecto de GM *per se*, pero si una fuerte interacción con FS ($P < 0,01$). A su vez, hay interacción Año x FS ($P < 0,0001$) (Tabla 4). Asimismo, en la Figura 1 se presenta la descomposición del rendimiento, de acuerdo a la contribución relativa de las variables y sus interacciones. Los de mayor peso fueron la interacción FS x Año y luego el efecto de año climático y la FS (Figura 1).

Así como en las precipitaciones, se observó un claro contraste en la tendencia de rendimientos entre campañas (Figuras 2 y 3). En 2016/17 los rendimientos alcanzaron a 4375,6 y 4836,6 kg ha⁻¹ para siembra temprana y tardía, mientras que en 2017/18 fueron de menor envergadura a consecuencia de la sequía, llegando a 4810,7 y 3055,3 para igual distribución de FS, respectivamente.

Analizando las combinaciones de tratamientos, se verifica que aun cuando la fertilidad química del sitio es uniforme, la respuesta al agregado de PS + ZnB es muy diferente según combinación de FS y GM. En 2016/17, el rango de rendimientos entre mínimo y máximo alcanzó a 2017 kg ha⁻¹, dando gran importancia a las combinaciones de manejo (Figura 2). Los rendimientos superiores de la fecha tardía se explicarían por una escasez incipiente

de precipitaciones hasta finales de diciembre. La amplitud de longitudes de ciclo, con algunos de ellos muy cortos, permitiría explorar ambientes de alto potencial de rendimiento aun en siembras de diciembre. La respuesta a la fertilización puede variar desde 0 a 1222 kg ha⁻¹. En promedio de otros factores, se determinó mayor respuesta en FS temprana - 810 vs 275 kg ha⁻¹-. Sólo el GM Vc evidenció escasa respuesta (Figura 2).

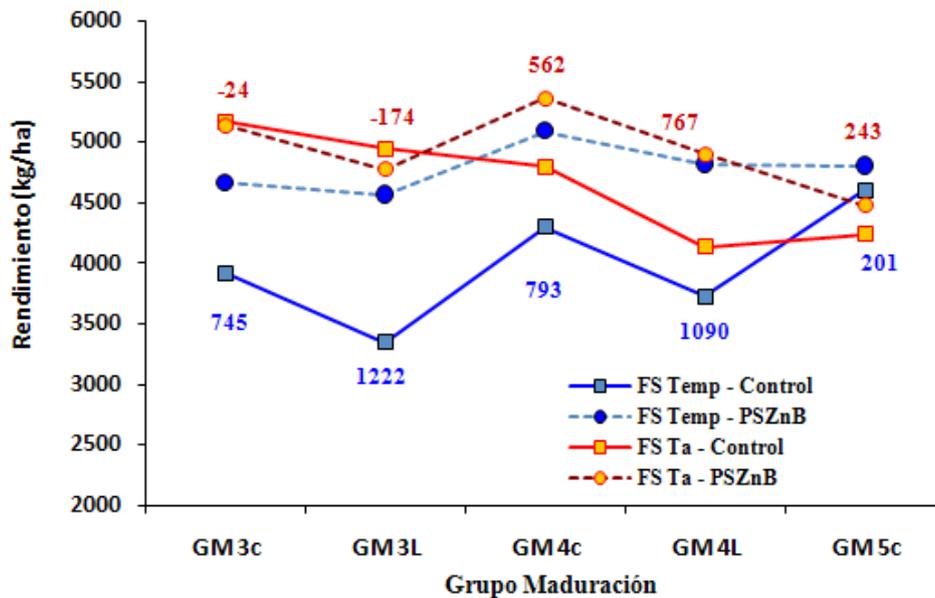


Figura 2. Rendimientos de grano según fecha de siembra (FS), grupo de maduración (GM) y nivel de fertilización. EEA INTA Pergamino, campaña 2016/17. Las cifras sobre los puntos indican la diferencia (kg ha⁻¹) entre fertilizado con PS + ZnB y Control, para igual GM y FS. El componente año representa un ambiente que integra el año climático, sitio y nivel inicial de nutrientes en suelo.

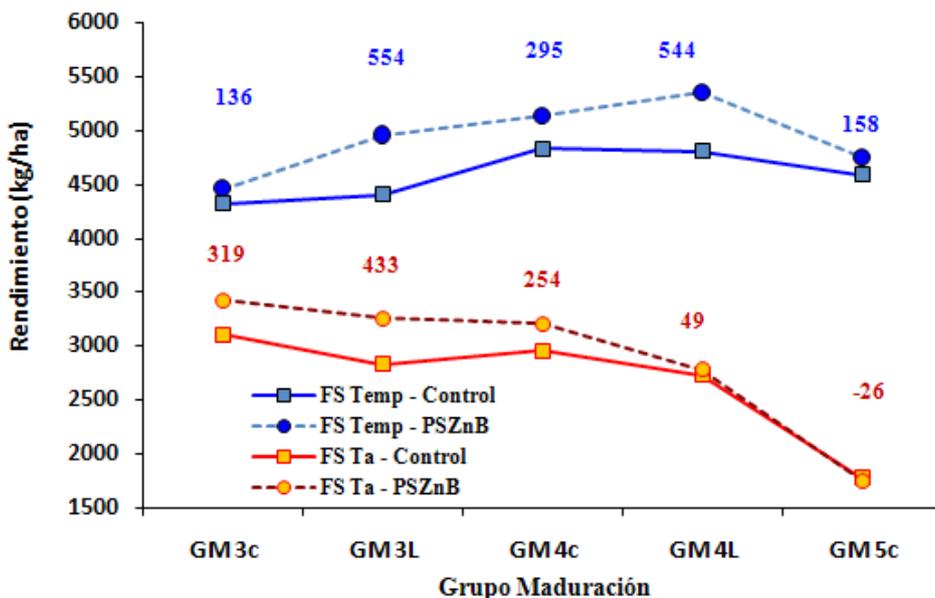


Figura 3. Rendimientos de grano según fecha de siembra (FS), grupo de maduración (GM) y nivel de fertilización. EEA INTA Pergamino, campaña 2017/18. Las cifras sobre los puntos indican la diferencia (kg ha⁻¹) entre fertilizado con PS + ZnB y Control, para igual GM y FS. El componente año representa un ambiente que integra el año climático, sitio y nivel inicial de nutrientes en suelo.

En cambio, en FS tardía sucedió lo inverso, las mejores respuestas se verificaron en longitudes de ciclo medias, como los GM IVc y IVL (Figura 3). La FS tardía estabiliza el rendimiento pero restringe la respuesta a la fertilización, mientras que FS temprana y GM corto se traducen en mayor variabilidad en los rendimientos (Figura 3). Las interacciones entre FS, genotipo y prácticas de manejo han sido ampliamente reportadas en diferentes ambientes de producción de Soja en el mundo, como reportan Junior *et al.*, (2017).

En la segunda campaña, 2017/18, la interacción entre variables se verifica de manera aún más pronunciada, en función de la sincronía entre período crítico y ocurrencia de precipitaciones. En 2017/18, el rango de rendimientos se amplió respecto del ciclo anterior, llegando a 3599 kg ha⁻¹. La respuesta a la fertilización osciló entre 0 y 554 kg ha⁻¹. Nuevamente, se determinó mayor respuesta a la fertilización en FS temprana, aunque las diferencias fueron más escuetas respecto de la campaña previa, siendo de 337 y 206 kg ha⁻¹ para FS temprana y tardía, respectivamente (Figura 3).

Considerando la respuesta a la fertilización y su interacción con FS y GM, en la FS temprana los mejores incrementos de rendimiento por agregar PSMicronutrientes se observaron en los grupos intermedios, IIIc, IVc y VL, mientras que disminuyó en los extremos, IIIc y Vc. La segunda fecha, de menor productividad, presentó nuevamente un comportamiento diferencial. Los ciclos más cortos, que conservaron agua en el suelo hacia el llenado de los granos, mostraron una respuesta similar a la siembra temprana. Sin embargo, y conforme avanzaba el ciclo, el cultivo fue ingresando en un progresivo estrés hídrico, que afectó en mayor medida a los GM más largos. La respuesta disminuyó levemente hacia el GM IVc, desplomando a valores mínimos o nulos en los GM IVL y Vc. Sólo en combinaciones favorables de FS x GM se determinó respuesta positiva a la fertilización. Un GM poco adaptado significó no sólo condicionar la respuesta, sino también una grave penalidad en los rendimientos.

CONCLUSIONES

La diversidad existente en fertilidad de suelos, clima y variabilidad de precipitaciones determina cambios interanuales y sitio-específicos en la jerarquía y comportamiento de GM, FS y nivel de fertilización. Aun en escenarios edáficos simila-

res, la respuesta a la fertilización estuvo condicionada por la constitución de un buen ambiente climático, estando en el borde de la interacción estadística y con interacción práctica con Año y GM. Esta aproximación constituye una novedad en el manejo de nutrientes para soja, cuyo diagnóstico tradicionalmente se ha basado en parámetros de suelo.

BIBLIOGRAFIA

Battisti, R., Sentelhas, P. C., Pascoalino, J. A. L., Sako, H., de Sá Dantas, J. P., & Moraes, M. F. 2018.b. Soybean Yield Gap in the Areas of Yield Contest in Brazil. *International Journal of Plant Production*, 1-10.

Divito, G. A., Echeverría, H. E., Andrade, F. H., & Sadras, V. O. 2016. Soybean shows an attenuated nitrogen dilution curve irrespective of maturity group and sowing date. *Field Crops Research*, 186, 1-9.

Edreira, J. I. R., Specht, J. E., Grassini, P., Mourtzinis, S., Conley, S. P., Roth, A. C., ... & Kyveryga, P. M. 2017. Key Management Practices That Explain Soybean Yield Gaps Across the North Central US. In *Integrated Crop Management Conference* (p. 13).

Ferraris, G. y F. Mausegne. 2016. La nutrición como herramienta para alcanzar los rendimientos potenciales en soja. Ambiente productivo, fertilización y rendimiento de distintos grupos de madurez en soja. *Revista de Tecnología Agropecuaria, INTA EEA Pergamino. RTA / Vol. 10 / N° 32.* pp 11-15.

Moreira, A., Moraes, L. A. C., Schroth, G., Becker, F. J., & Mandarino, J. M. G. 2017. Soybean yield and nutritional status response to nitrogen sources and rates of foliar fertilization. *Agronomy Journal*, 109(2), 629-635.

Orlowski, J. M., Haverkamp, B. J., Laurenz, R. G., Marburger, D., Wilson, E. W., Casteel, S. N., ... & Ross, W. J. 2016. High-input management systems effect on soybean seed yield, yield components, and economic break-even probabilities. *Crop Science*, 56(4), 1988-2004.

Junior, C. P., Kawakami, J., Schwarz, K., Umbaran, R. C., Del Conte, M. V., & Müller, M. M. L. 2017. Sowing Dates and Soybean Cultivars Influence Seed Yield, Oil and Protein Contents in Subtropical Environment. *Journal of Agricultural Science*, 9(6), 188. <<

↓ **DECARGAR ARTÍCULO**