Proyecto Regional Agrícola
Desarrollo Rural
Estación Experimental Agropecuaria Pergamino *"Ing. Agr. Walter Kugler"*

COMPORTAMIENTO DE GRUPOS DE MADURACIÓN Y ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN EN SOJA SEGÚN AMBIENTE PRODUCTIVO
Campaña 2008/09

Análisis de la información: Ings. Agrs. Gustavo Ferraris y Fernando Mousegne.*

Autores: (Orden alfabético)**:** Ings. Agrs. Cristian Álvarez (EEA General Villegas), H. Barosela, M. Barraco (EEA General Villegas), A. Bojorge (AER Mercedes), J.J. Cavo (AER Junín), L. Couretot (Desarrollo Rural Pergamino), G. Ferraris (Desarrollo Rural Pergamino), E. Lemos (AER Junín), M. López de Sabando (AER San Antonio de Areco), F. Mousegne (AER San Antonio de Areco, Coordinador del Proyecto Regional Agrícola), C. Ojuez (AER Bolívar), A. Paganini (AER Zárate-San Antonio de Areco), A. Pereyro (AER Pehuajó), Carlos Scianca (EEA General Villegas), R. Solá (AER Arrecifes), M.G. Tellería (AER Junín), L. Ventimiglia (AER 9 de Julio).

Introducción

La nutrición es uno de los principales componentes del costo de producción de los cultivos, no escapando la soja a esta tendencia. La disponibilidad en el suelo de algunos elementos importantes i.e fósforo (P) y azufre (S) indican deficiencias generalizadas en la Región Pampeana Argentina, haciendo necesario su agregado en buena parte de los sistemas productivos.

Las relaciones de precio fertilizante:grano de soja han mostrado constantes variaciones durante los últimos tiempos, modificando en consecuencia los umbrales críticos y afectando las decisiones de fertilización. Por este motivo, es necesario validar y actualizar los criterios de recomendación teniendo en cuenta parámetros de suelo y los adelantos permanentes en la tecnología de producción.

Tradicionalmente, se ha asociado la respuesta a la fertilización en soja con variables de suelo como el nivel de P disponible, o el contenido de materia orgánica y S extractable. Sin embargo, no se conoce si existe asociación entre la respuesta a la fertilización y variables que determinan la calidad del ambiente productivo, como el potencial de rendimiento del lote, el grupo de madurez (GM) elegido, el distanciamiento entre hileras o la fecha de siembra. Generar este conocimiento es relevante puesto que por razones económicas y ambientales la fertilización debería estar dirigida a aquellos ambientes con mayor probabilidad de respuesta. Esta red de ensayos tiene como objetivo profundizar en el estudio de la interacción entre respuesta a la fertilización en soja y variables de cultivo.

Palabras claves: Soja, variedades, ambiente, fósforo, azufre, interacción genotipo x fertilización

Objetivo general

Avanzar en el estudio de las interacciones existentes entre nutrientes y factores de cultivo, de modo de facilitar el manejo de la fertilización por ambientes de producción.

* Técnicos de Desarrollo Rural INTA Pergamino

Objetivo específico

Estudiar la respuesta a la fertilización en función del nivel de nutrientes en el suelo y el GM sembrado, para distintas localidades de la región Norte, Centro y Oeste de Buenos Aires.

Hipótesis

El GM y la fertilización fósforo azufrada afectan el rendimiento del cultivo en la región de estudio.
Existe interacción entre respuesta a la fertilización, GM y ambiente productivo.

Materiales y métodos

Se realizaron ocho ensayos de campo sobre diferentes localidades del Norte, Centro y Oeste de Buenos Aires. Algunas características de sitio y manejo de los experimentos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Características de sitio y manejo de los experimentos, ordenados de Norte a Sur. Evaluación de grupos de maduración y estrategias de fertilización en soja según ambiente productivo. EEAs Pergamino y General Villegas, campaña 2008/09.

Sitio	Serie de Suelo	Tipo de Suelo	Clase de Uso	Localización del ensayo	Fecha de siembra	Esp. e/ hileras (m)	Densidad de siembra
Pergamino	Pergamino 1	Argiudol típico	I-2	33°57' S 60°32' O	03-Dic	0,32	37,5 pl m^{-2}
SA de Areco	Capitán Sarmiento	Argiudol típico	I-2	34°12' S 59°34' O	10-Dic	0,35	63 pl m^{-2}
Junín	Saforcada	Hapludol éntico	II S	34°39' S 60°59' O	10-Nov	0,42	67 kg ha^{-1}
Mercedes	Mercedes 7	Argiudol típico	III	34°39' S 59°26' O	22-Nov	0,52	65 kg ha^{-1}
Gral Villegas	Lincoln	Hapludol típico	II s	34°54' S 62°46' O	05-Dic	0,52	40 pl m^{-2}
Henderson	Bolívar 30	Hapludol éntico	II es	33°57' S 60°32' O	14-Nov	0,35	45 pl m^{-2}
9 de Julio	Norumbega	Hapludol éntico	III s	35°27' S 60°49' O	18-Nov	0,35	51,4 pl m^{-2}
Bolívar	Bolívar	Hapludol éntico	III s	36°09' S 61°05' O	02-Dic	0,42	59,5 pl m^{-2}

El diseño utilizado fue el de bloques completos al azar, con tres o cuatro repeticiones. Los tratamientos, cuya descripción se presenta en la Tabla 2, se dispusieron en arreglo factorial de dos genotipos de diferente grupo de maduración, y tres estrategias de fertilización.

Tabla 2: Tratamientos evaluados en el ensayo.

Tratamientos	Genotipo - GM	Fertilización	Fuente
T1	**GM III DM 3700 RR**	**Testigo**	**Testigo**

T2		P (20 kg ha^{-1})	Superfosfato triple de calcio (0-20-0)
T3		P (20 kg ha^{-1}) + S (15 kg ha^{-1})	Superfosfato simple de calcio (0-9-0-S12)
T4	GM IV Largo Nidera 4613 RG	Testigo	Testigo
T5		P (20 kg ha^{-1})	Superfosfato triple de calcio (0-20-0)
T6		P (20 kg ha^{-1}) + S (15 kg ha^{-1})	Superfosfato simple de calcio (0-9-0-S12)

La cosecha se realizó en forma manual o mecánica, de acuerdo al diseño y tamaño de las unidades experimentales. Los datos obtenidos fueron analizados por análisis de varianza, y la relación entre rendimiento y respuesta a la fertilización con variables de suelo y cultivo se determinó mediante análisis de regresión, a través de los procedimientos lineal simple, stepwise y best subset regresión, y análisis multivariado por componentes principales.

Resultados y discusión

a) Condiciones climáticas de la campaña

Las precipitaciones durante el período de cultivo y previo al mismo fueron escasas, dispares entre localidades, y focalizadas a inicios y finales del período (Figura 1). Se registró un pronunciado déficit durante los meses de diciembre y enero que afectó a todas las localidades, con recuperación parcial hacia el norte de la región (Pergamino) y mantenimiento o profundización del proceso en la región central (Henderson, Bolívar, 9 de Julio, Junín).

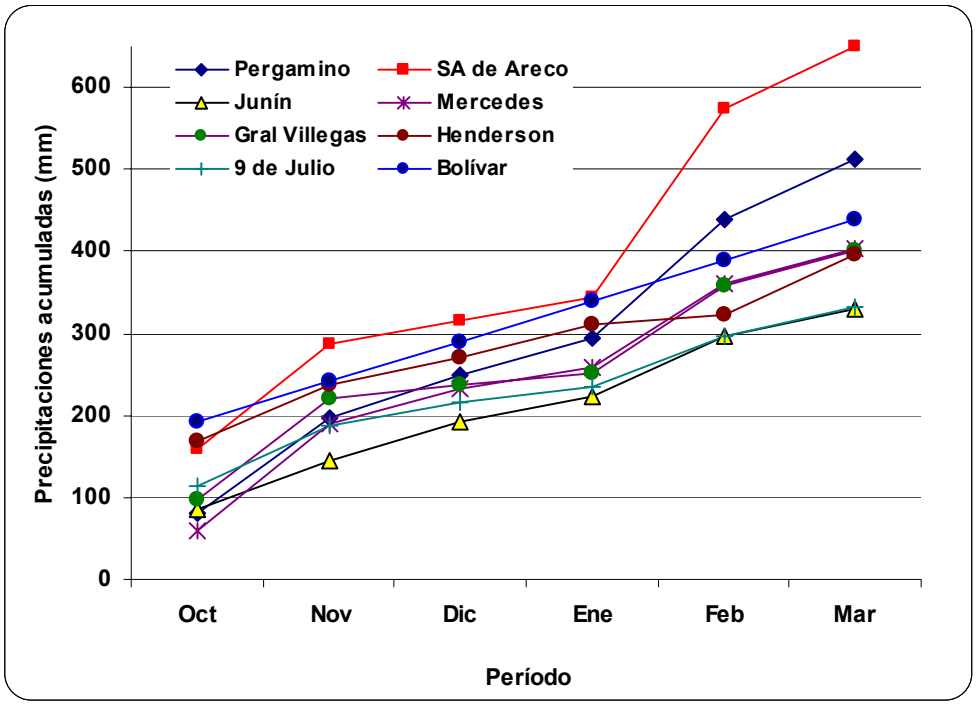

Figura 1: Precipitaciones acumuladas (mm) en períodos mensuales durante la estación de crecimiento de Soja.

b) Resultados de los ensayos

B.1. Efecto de interacciones y tratamientos

Analizando la red en conjunto, se determinó efecto de sitio (P=0,000), fertilización (P=0,000) y en menor medida GM (P=0,069) sobre los rendimientos. De igual manera, se verificó interacción sitio x fertilización (P=0,027) y sitio x GM (P=0,006), pero no GM x fertilización (P>0,10). Esto significa que en esta red de ensayos, la respuesta a la fertilización siguió la misma tendencia en ambos perfiles de genotipos, lo que habilita diseñar estrategias comunes de recomendación.

Los datos individuales de rendimiento se presentan en la Tabla 4, y como promedio de toda la red en la Figura 3. De seis ensayos con diseño estadístico, en cuatro de ellos se determinó efecto de GM (P<0,05 en dos, P<0,1 en dos) y en tres efecto de fertilización (P<0,05). En la mitad de los ensayos la combinación A4613RG - PS fue la variedad de mayor rendimiento, en dos de ellos DM3700RR – P y en los dos restantes DM3700RR – PS.

El rendimiento relativo medio del testigo no fertilizado con relación al tratamiento de fertilización de rendimiento máximo fue de 0,84. Este fue calculado como promedio de ambos GM, correspondiendo al tratamiento PS en siete de ocho localidades. Este comportamiento está evidenciando cierta independencia entre la respuesta a la fertilización fósforo azufrada en soja y las condiciones ambientales de la campaña. La estabilidad de respuesta observada en soja marca un claro contraste con otras prácticas, las cuales bajan su eficiencia bajo condiciones de estrés hídrico i.e. respuesta a la fertilización nitrogenada en cereales.

Tabla 4: Rendimientos y significancia estadística de la interacción entre dos GM y tres niveles de fertilización en Soja, en diferentes ambientes productivos del Centro, Norte y Oeste de Buenos Aires. EEAs Pergamino y General Villegas, campaña 2008/09.

Genotipo	Fertilización	Pergamino	SA de Areco	Junín	Mercedes	Gral. Villegas	Henderson	9 de Julio	Bolívar
	Testigo	1675	2807	1786	1185	2401	3242	3343	3216
	P (20 kg ha^{-1})	1924	2955	1918	1155	2702	3856	3909	2695
	P (20 kg ha^{-1}) + S (15 kg ha^{-1})	1939	3038	2265	1203	2806	2932	3872	3302
	Testigo	2093	2000	2224	1225	2644	2999	2948	2951
	P (20 kg ha^{-1})	2451	2785	2166	1210	3117	3584	3637	2754
	P (20 kg ha^{-1}) + S (15 kg ha^{-1})	2694	2857	2546	1833	3226	3380	3717	3038
Tratamiento máximo rendimiento		**A4613_PS**	**DM3700_PS**	**A4613_PS**	**A4613_PS**	**A4613_PS**	**DM3700_P**	**DM3700_P**	**DM3700_PS**
Genotipo		**0,007**		**0,097**		**0,031**	**0,930 n.s.**	**0,093**	**0,435 n.s.**
Fertilización		**0,147 n.s.**		**0,214**		**0,042**	**0,035**	**0,004**	**0,186 n.s.**
Genotipo*Fertilización		**0,712 n.s.**		**0,762 n.s.**		**0,864 n.s.**	**0,279 n.s.**	**0,815 n.s.**	**0,738 n.s.**
Coef de variación (%)		**16,7**		**14,5**		**13,1**	**11,4**	**10,5**	**13,7**
Rendimientos medios variedades		LSD a=0,05		LSD a=0,10		LSD a=0,05		LSD A=0,10	
DM 3700 RR		1846 **b**	2933	1990 **b**	1181	2636 **b**	3343	3708 **a**	3071
Nidera 4613 RG		2413 **a**	2547	2312 **a**	1423	2996 **a**	3321	3434 **b**	2914
Rendimientos medios Fertilización						LSD a=0,05	LSD a=0,05	LSD a=0,05	
Testigo		1884	2404	2005	1205	2522 **b**	3120 **b**	3145 **b**	3083
P		2188	2870	2042	1183	2909 **ab**	3720 **a**	3773 **a**	2725
PS		2316	2948	2406	1518	3016 **a**	3156 **b**	3794 **a**	3170

RR testigo	0,81	0,82	0,83	0,79	0,84	0,84	0,83	0,97

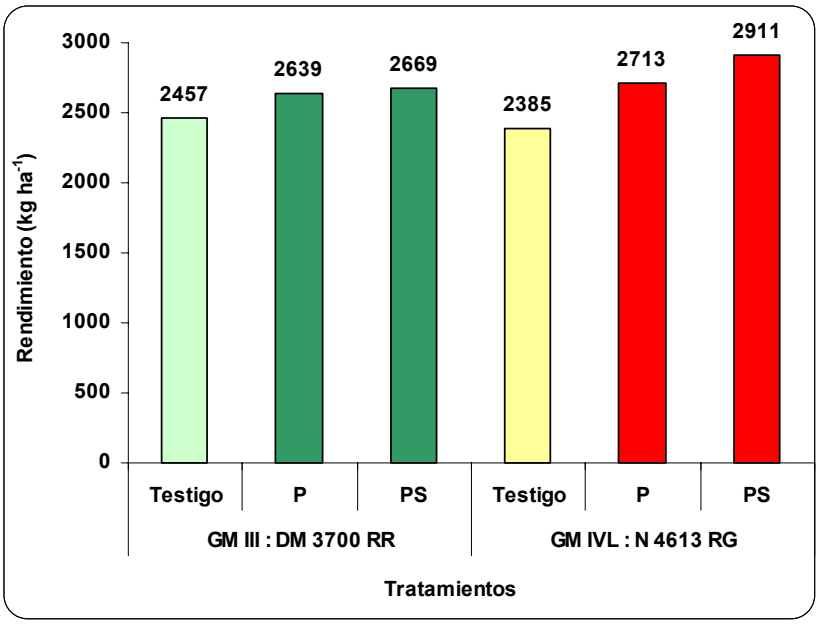

Figura 3: Rendimientos de la interacción entre dos GM y tres niveles de fertilización en Soja, media de 8 localidades en el Centro, Norte y Oeste de Buenos Aires. EEAs Pergamino y General Villegas, campaña 2008/09.

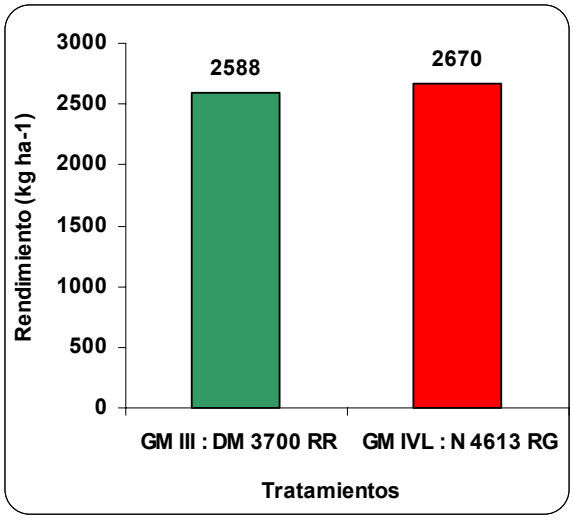

Figura 4.a

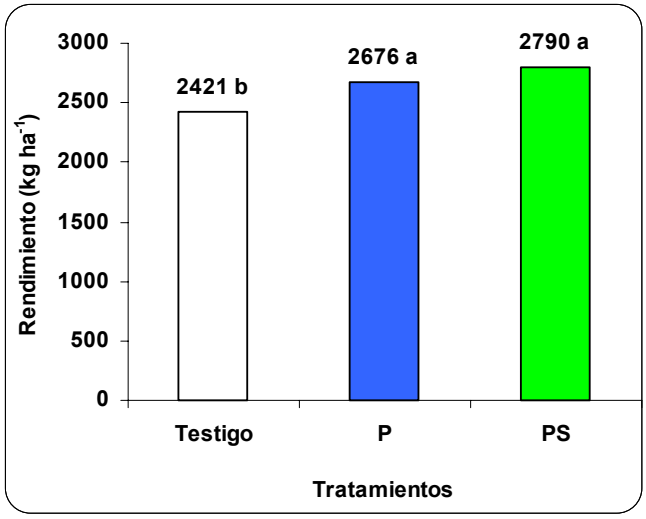

Figura 4.b

Figura 4: Rendimientos medios de a) dos GM y b) tres tratamientos de fertilización, como media de 8 localidades en el Centro, Norte y Oeste de Buenos Aires. Comportamiento de GM y estrategias de fertilización en soja según ambiente productivo. EEAs Pergamino y General Villegas, campaña 2008/09.

B.2 Relación entre el rendimiento, la respuesta a la fertilización y variables de suelo y cultivo.

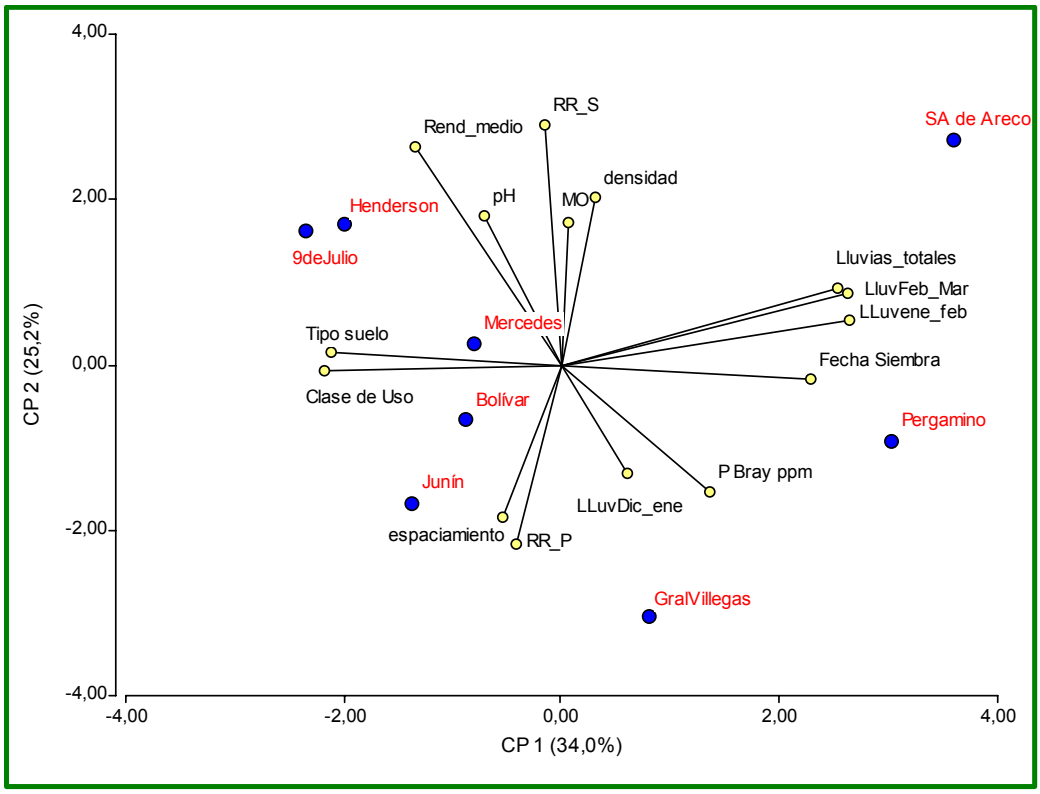

Figura 5: Análisis biplot de las localidades y variables cuantitativas evaluadas en los ensayos. Comportamiento de GM y estrategias de fertilización en soja según ambiente productivo. EEAs Pergamino y General Villegas, campaña 2008/09. Rend_medio: Rendimiento medio del sitio. RR_S: Rendimiento P / Rendimiento PS. RR_P: Rendimiento S / Rendimiento PS. LLuvDic_Ene: Lluvias durante Diciembre-Enero. LLuvEne_Feb: Lluvias durante Enero-Febrero. LLuvFeb_Mar: Lluvias durante Febrero-Marzo.

Los sitios evidenciaron grandes diferencias en su comportamiento. Henderson y 9 de Julio fueron las localidades con mayor semejanza, y se destacaron por sus rendimientos medios elevados (Figura 5). Por el contrario, San Antonio de Areco, Pergamino y General Villegas presentaron escasa asociación con el resto de los ensayos. El rendimiento expresó una relación directa con dos indicadores de calidad de ambiente como el contenido de materia orgánica (MO) y el pH. De acuerdo con el análisis desarrollado en la Figura 5, se obtuvieron rendimientos elevados en sitios con alto contenido de MO, pH tendiendo a la neutralidad, y densidades elevadas que permitieron compensar el menor crecimiento ocasionado por la sequía imperante en la campaña. Según esta misma figura, los rendimientos relativos del testigo sin S (RR_S) fueron elevados evidenciando escasa respuesta a S, cuando la MO orgánica fue elevada y el pH tendiente a la neutralidad.

Relación entre Respuesta a P y el nivel de P en suelo

Durante las campañas 2000/01 y 2001/02, se realizaron en el marco del convenio INTA-Fertilizar una serie de ensayos en las localidades de Pergamino, Colón, Wheelwright, Junín, 9

de Julio y San Antonio de Areco (n=21). Estos fueron integrados a una red nacional (Echeverría et al., 2002), y los datos fueron publicados (Ferraris, 2008). Si se analizan en conjunto los datos para nuestra región de aquella red y la presente, se observa una clara tendencia central: La respuesta a P está asociada al nivel de P en suelo (Figura 6), y la relación entre ambas variables puede ser ajustada a través de una función matemática. (Figura 7).

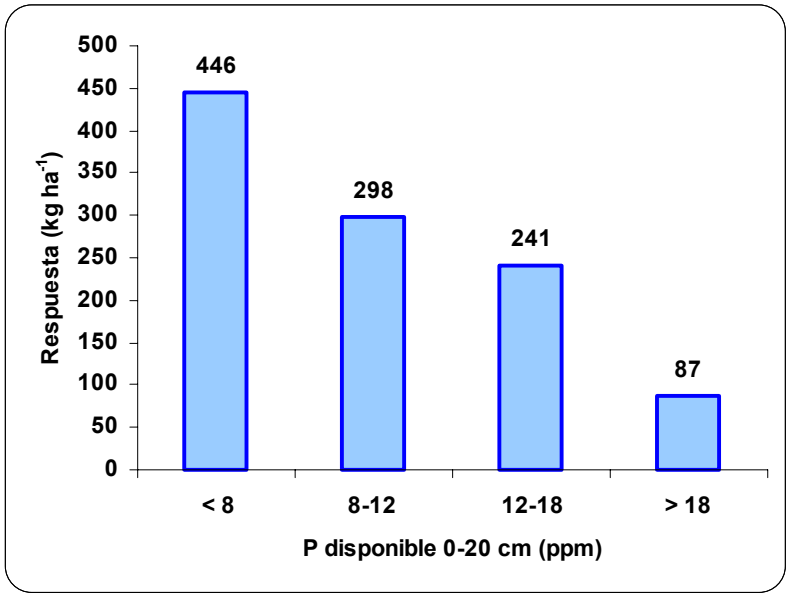

Figura 6: Respuesta media al agregado de 20 kg P_ha^{-1} en el Norte, Centro y Oeste de Buenos Aires (n=29). Datos de la presente red (n=8) y de ensayos realizados en el área en una red anterior (Echeverría et al., 2002 n=21).

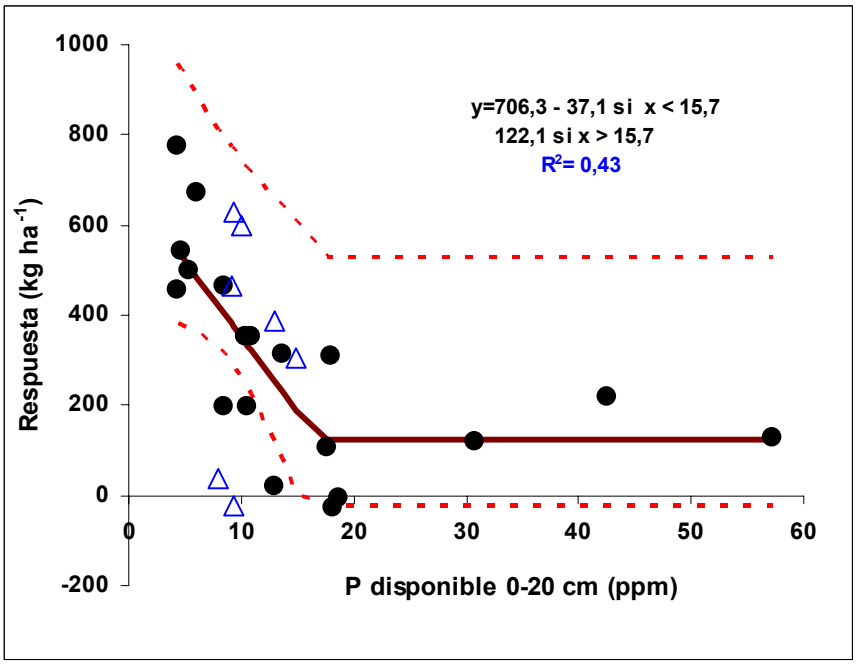

Figura 7: Relación entre la respuesta a la fertilización fosforada y el nivel de P en suelo, ajustado a través de una función bilineal-plateau. Datos de la presente red (triángulos vacíos) y de ensayos previos realizados en la región (círculos llenos, Echeverría et al., 2002). Dos experimentos con niveles de P-Bray

superiores a 35 mg kg^{-1}fueron incluidos en el ajuste pero no se muestran en el gráfico, por razones de escala. Las líneas punteadas representan los intervalos de confianza del 95 %.

Relación entre Respuesta a S y variables de suelo y cultivo.

Se realizó un proceso de selección múltiple de variables a través de los procedimientos stepwise y best subset, utilizando como regresoras las variables presentadas en la Figura 5. Un modelo correlacionó en forma significativa con la respuesta a S,

RR_S= -5,4 Tipo de suelo + 0,01 Rendimiento medio
P=0,01 R^2= 0,88

Donde RR S es el Rendimiento relativo del testigo no fertilizado, Tipo de suelo fue transformado en una variable numérica (1=Argiudol típico, 2= Hapludol típico, 3= Hapludol éntico), y Rendimiento medio representa el rendimiento del sitio, promedio de todos los tratamientos evaluados. De acuerdo con la función ajustada, el RR_S es menor (es decir, la respuesta a S aumenta) cuando el suelo se hace más arenoso y el rendimiento medio disminuye. El sentido biológico de la asociación negativa con el rendimiento podría explicarse en la mayor habilidad para explorar el suelo y absorber el nutriente por parte de una planta de mayor crecimiento. El contenido de MO fue un pobre indicador de la respuesta a S.

Conclusiones:

* En la presente red se determinó una respuesta global a la fertilización que alcanzó al 16 % (RR=0,84), aun bajo condiciones ambientales muy desfavorables. De este modo, la respuesta a PS en soja demostró estabilidad bajo condiciones productivas adversas y ambientes de bajo rendimiento.
* La respuesta a la fertilización fue afectada por el sitio de ensayo pero no por el GM, mostrando ambos genotipos similar patrón de respuesta.
* El efecto sitio o fertilización tuvo mayor peso sobre los rendimientos que el GM. La preponderancia de una u otro genotipo difirió con la localidad de ensayo, siendo en general favorecido el GM III (DM3700RR) hacia el sur de la región, y el GM IV (N4613 RG) en el norte del área.
* La respuesta a P logró predecirse a partir del análisis de P Bray, integrando los datos con los de una red de ensayos anterior. Una función bilineal-plateau permite inferir una respuesta mayor a 200 kg ha^{-1} cuando el nivel de P es menor a 14,5 mg kg^{-1}.
***** La respuesta a S fue explicada por el Tipo de suelo y el rendimiento del sitio, siendo mayor en suelos de textura gruesa y rendimiento limitado.

Bibliografía

-Echeverría, H., G. Ferraris, G. Gerster, F. Gutiérrez Boem y F. Salvagiotti (Ex aequo). 2002. Fertilización en Soja y Trigo-Soja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. Boletín técnico: Resultados de la red de ensayos del Proyecto Fertilizar-INTA. Campaña 2000/01 y 2001/02. INTA EEA Pergamino, 43 p.
-Ferraris, G. 2008. Fertilización de la Soja. pp 261-278. En: R. Melgar y M. Díaz Zorita (eds.). Fertilización de cultivos y pasturas. 2da edición ampliada y actualizada. Hemisferio Sur. 569 p.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer especialmente a los productores en cuyos establecimientos se condujeron los ensayos, y a las empresas y agronomías que facilitaron los insumos para su realización.