



El cultivo de soja cubre en la región pampeana el 53% del área cultivable, siendo uno de los de mayor importancia tanto para el sector productivo, como el exportador e industrial, alcanzando una superficie implantada superior a los 18 millones de hectáreas.

Tal como resalta Fertilizar Asociación Civil el área fertilizada alcanzaría el 68% de la superficie sembrada, con dosis medias de fertilizantes que no cubren la extracción de nutrientes por parte del cultivo. Esto indicaría que, en varias zonas de la región pampeana, el balance entre el aporte y consumo de nutrientes es negativo, realizando el mayor aporte de nutrientes el sistema suelo. Este no es un dato menor, puesto que -cubiertas las necesidades de nitrógeno (~60-70%), mayormente por el proceso de fijación biológica desde el aire-, el fósforo es el principal nutriente que limita la productividad del cultivo de soja.

Son numerosos los estudios que analizan los comportamientos de soja en relación a los niveles de fósforo del suelo y la fertilización fosforada. En su mayoría han sido desarrollados en secuencias de rotación con otros cultivos. Son escasos los trabajos que consideran este análisis en sistemas continuos de soja, que es la situación más frecuente en los actuales planteos productivos.

La aplicación de fósforo en cantidades que permitan cubrir los requerimientos de extracción sería adecuada para mantener e incrementar tanto la productividad como los niveles de fósforo extractable en el suelo.

En la actualidad, las dosis limitadas por el riesgo salino de fitotoxicidad, en contacto directo entre fertilizantes y semillas se observa en la fertilización en bandas próximas a la línea de siembra. Existen evidencias que las aplicaciones en superficie podrían ser una alternativa de manejo de la fertilización con fósforo. Por no presentar riesgos sobre la implantación, permitiendo aportar mayores dosis del nutriente, como por razones logísticas mejorando la operación de siembra.

En base a lo expuesto, Fertilizar Asociación Civil elaboró un informe que estuvo a cargo de los Ing. Agr. Matías Saks y el Dr. Manuel Bermúdez, para desarrollar esta tecnología.

#### LA PROPUESTA

Con el objetivo de evaluar distintas estrategias de fertilización fosforada e incrementar la productividad de soja en secuencias continuas del cultivo, Fertilizar Asociación Civil -junto con instituciones como INTA y la Universidad Nacional de Río Cuarto- está conduciendo una red de ensayos de fertilización que lleva 3 años en sistemas de secuencia continua Soja-Soja.

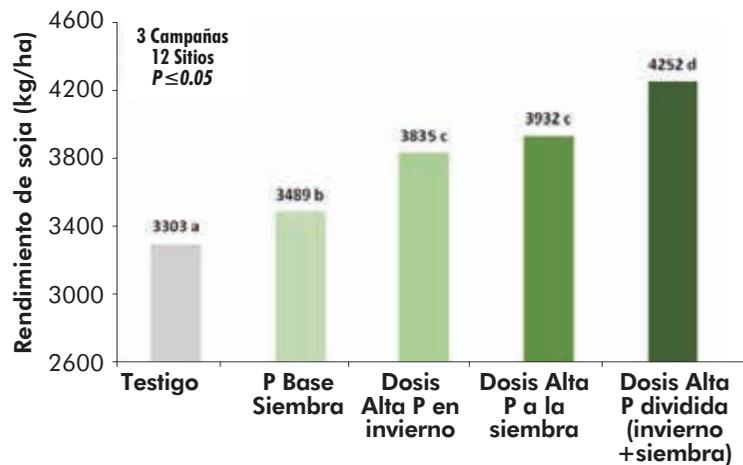
En distintos lugares representativos de la región pampeana (9 de Julio y Ferré -Buenos Aires-; Aldao y Carcaraña -Santa Fe- y Río Cuarto -Córdoba-) se establecieron cinco tratamientos de manejo de la fertilización con fósforo en un diseño en bloques completos aleatorizados de cuatro repeticiones.

Todos los cultivos se sembraron con semillas de soja de variedades de alta producción, según cada región; y fueron inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum*.

# MANEJO DE FÓSFORO *en secuencias continuas* DE SOJA

**Figura 1.**

Rendimiento medio del cultivo de soja como resultado de diferentes dosis, momentos y formas de localización de P en 12 localidades de la región pampeana de Argentina. Medias de tratamientos con distinta letra difieren entre sí ( $P \leq 0,05$ ).



Además, en todos los casos se aplicó azufre (S) para corregir posibles deficiencias de este nutriente, en dosis que variaron entre 10 y 18 kg de S/ha/año.

Los ensayos se mantuvieron libres de plagas, enfermedades y malezas.

En cada sitio, previo a la siembra se realizó un análisis de suelo para caracterizar los sitios experimentales. De ese modo y en los primeros 20 cm se determinaron los contenidos de materia orgánica total, azufre disponible, pH, textura y fósforo extractable del suelo, el cual fue evaluado después de cada cosecha en el entresurco y para cada tratamiento (0 a 20 cm).

Al momento de la cosecha se determinó el rendimiento de grano de cada una de las unidades experimentales para luego tomarse muestras de cada uno de ellos (espectrometría de emisión atómica por plasma inducido) y así calcular el balance nutricional. Los datos fueron analizados mediante análisis de variancia, pruebas de comparación de medias y análisis de regresión.

## LOS RESULTADOS

Los resultados de evaluación de 12 sitios (3 años en 4 sitios) representativos de la región en suelos con limitaciones en la oferta de fósforo muestran que la aplicación de una dosis de base en el momento de la siembra de entre 8 y 15 kg/ha de fósforo -semejante a la práctica de fertilización actual- logra incrementar parcialmente la producción de granos (186 kg/ha).

Las mayores mejoras en rendimientos se logran con dosis de entre 25 y 30 kg/ha de fósforo aplicadas en superficie ("al voleo") durante el barbecho en el invierno o en pre-siembra de los cultivos o combinando 70% de la dosis en superficie y el resto localizada en el momento de la siembra. A su vez, en promedio, la fertilización en superficie mostró aumentos de 703 kg/ha y 949 kg/ha con aplicaciones fraccionadas. Esta última posibilidad, además de contribuir a incrementar los rendimientos, sería

**Tabla 1.**

Análisis químico del suelo (0 a 20 cm) inicial para los ensayos realizados en cada una de las localidades. Los valores corresponden a la campaña inicial de cada sitio experimental. Pe = P (Bray Kurtz 1), MO = materia orgánica.

	Pe	S-Sulfatos	Arena	Limo	Arcilla	MO
Localidad	ppm		%			
Ferre	14	6	28	48	23	2,8
Río Cuarto	15	14	32	56	12	1,8
Carcaraña	12	3	2	74	24	2,5
9 de Julio	10		65	20	15	2,2

una alternativa para el mantenimiento de los balances aparentes del nutriente al compensar los niveles de exportación de fósforo en los granos y la corrección al fertilizar.

Cabe mencionar que estos estudios tienen como propósito aportar herramientas para el mejor manejo de la nutrición del cultivo en las condiciones frecuentes de producción en la región pampeana aunque es importante recordar que es deseable la incorporación de gramíneas en las secuencias de cultivos para facilitar el mantenimiento procesos fisicoquímicos y biológicos que hacen a la fertilidad de los suelos

Destacando que la información suministrada corresponde a tres años de evaluaciones, el manejo frecuente de la fertilización con fósforo en cultivos de soja de la región pampeana es el de proporcionar la cantidad óptima o suficiente del nutriente para alcanzar un máximo rendimiento económico.

## EN DETALLE

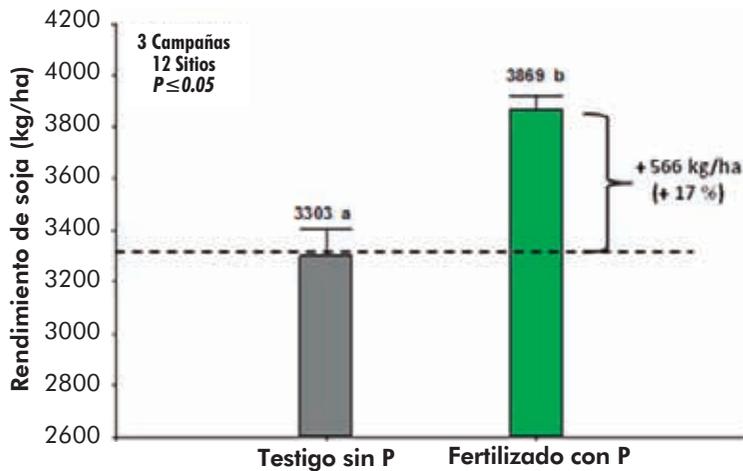
El informe de Fertilizar Asociación Civil destaca que los suelos donde se realizaron los ensayos son representativos de los lotes agrícolas de la región pampeana, con contenido de materia orgánica inferior a 2,8%. En esos casos, el contenido de fósforo fue medio, con un rango que osciló entre 10 y 15 ppm, y el contenido de azufre fue bajo (menor a 6 ppm) a intermedio, en Río Cuarto (14 ppm).

En ese marco, las condiciones de media disponibilidad de fósforo extractable en los suelos permitieron expresar una amplia respuesta a la fertilización fosfatada, la que incrementó significativamente el rendimiento del cultivo y sus componentes, independientemente de la campaña considerada. Así, la media de rendimiento del tratamiento testigo fue de 3303 kg/ha y la de los tratamientos fertilizados con P fue de 3869 kg/ha.

Otro dato interesante tiene que ver con que los 566 kg/ha de respuesta al agregado de fósforo (equivalentes a mejoras del

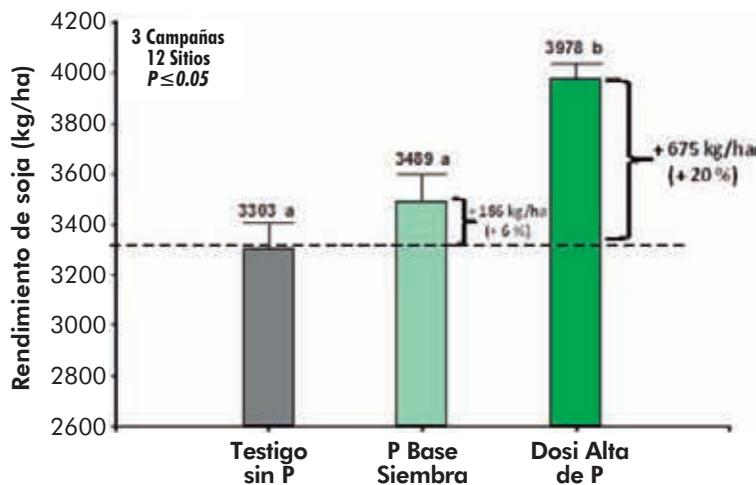
**Figura 2.**

Rendimientos en granos promedio para tratamiento testigo sin fertilizar y los tratamientos fertilizados con P en la región pampeana. Promedio de 3 campañas y 12 sitios. Medias de tratamientos con distinta letra difieren entre sí ( $P \leq 0,05$ ).



**Figura 3.**

Rendimientos medios en granos de soja para los tratamientos testigo sin fertilizar, fertilizado con una dosis base de P y fertilizado con una dosis alta de P. Promedio de 3 campañas y 12 sitios de la región pampeana. Medias de tratamientos con distinta letra difieren entre sí ( $P \leq 0,05$ ).



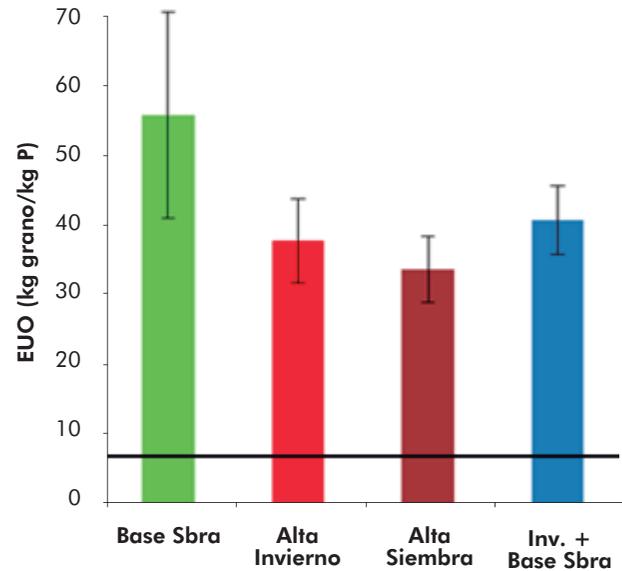
**Tabla 2.**

Respuesta en rendimiento de soja al: a) agregado de P y b) a la diferencia entre la dosis alta y dosis base de P. Medias de tratamientos con asterisco fueron significativos ( $P \leq 0,05$ ).

Sitio	Campaña	Respuesta a P	Dosis de P Alta - Dosis de P Base
1	2010	438 *	268
2	2011	253	269
3	2012	526 *	227
4	2011	550 *	848 *
5	2012	472 *	847 *
6	2010	327 *	-13
7	2011	175	12
8	2012	230 *	61
9	2010	51	113
10	2010	637 *	97
11	2011	907 *	837 *
12	2012	2655 *	1046 *

**Figura 4.**

Eficiencia de uso de P para los diferentes momentos y dosis de aplicación de P. Promedio de 3 campañas y 12 sitios de experimentación en la región pampeana de Argentina.



17% en la producción de granos sobre el control sin fertilización) no solamente fue estadísticamente significativa sino que además refuerza el concepto de la importancia del agregado de este elemento para mantener altos rendimientos en sistemas de secuencias continua de soja cuando los niveles extractables son inferiores a las 16 ppm

Por su parte, los estudios también demuestran que los tratamientos con dosis altas de fósforo (ya sea aplicados en el invierno como en la siembra) se diferenciaron estadísticamente y fueron superiores al tratamiento testigo sin fertilizar en 675 kg/ha, y en 489 kg/ha por sobre el rendimiento de los cultivos fertilizados con una dosis base de P (incorporado a la siembra).

Estos resultados sugieren que los niveles de fósforo aplicados como base a la siembra (y que generalmente son aplicados por los productores) no fueron suficientes para sostener los rendimientos observados, y dosis mayores a 8-15 kg P/ha son necesarias para sostener altos rendimientos en sistemas con secuencias continuas de soja.

Más allá de esto y en base al análisis detallado sitio por sitio, los resultados fueron consistentes: la fertilización fosforada (en la combinación de la dosis base y dosis alta) tuvo un efecto positivo sobre los rendimientos de soja en todos los casos, variando el incremento de producción, entre 51 y 2655 kg/ha.

A la vez, y en relación a la posibilidad de determinar si los incrementos en rendimiento se debieron a las dosis base o a las dosis altas, en el informe se observa que la respuesta debida al aumento de dosis de fertilización fue de hasta 1046 kg/ha y en 4 de los 12 sitios (30% de los casos) con diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre ambos tratamientos fertilizados.

En general, entre los tratamientos con alta dosis de fertilización fosforada los mayores incrementos en producción tendieron a observarse cuando la dosis se aplicó fraccionada entre presiembr (en superficie) y localizada en el momento de la siembra.

Por su parte y en base a la localización del fósforo, las diferen-

cias entre tratamientos de fertilización en superficie (localizada en bandas y fraccionada entre ambas formas de corrección) fueron significativas aunque sin diferenciarse en la aplicación con dosis alta de fósforo “al voleo” entre la siembra y el invierno.

La estrategia de mejor performance fue aquella que combinó una aplicación anticipada de P en 70% en el invierno, con el restante 30% localizada en la siembra.

Si bien se requiere de su validación en nuevas condiciones agroecológicas de producción, el manejo fraccionado de la fertilización fosfatada pareciera ser un esquema válido para permitir la reposición del fósforo exportado con los granos, sin afectar la logística de siembra ni asumir excesivos riesgos de pérdidas de plantas por fitotoxicidad. Cabe mencionar también que el microambiente que rodea un gránulo de fertilizante fosfatado varía en relación a una serie de reacciones primarias y secundarias que afectan sustancialmente la disponibilidad de este nutriente para la soja. Poder influir o reducir estas reacciones, ya sea por la dosis, localización o momento de aplicación del fertilizante, es uno de los medios para mejorar la eficiencia de uso del P (EUP) aplicado, y así mejorar el rendimiento del cultivo.

En ese sentido, la fertilización de base con fósforo a la siembra fue la que mostró la mayor EUP media pero con la mayor variabilidad en su comportamiento. Por el contrario, las dosis altas obtuvieron similares EUP, sin diferenciarse entre momentos de aplicación o estrategias simples o combinadas de fertilización, y a su vez mostraron una menor variabilidad.

En las condiciones de este estudio, los rendimientos de soja variaron entre 1501 y 6741 kg/ha y la dosis de fósforo aplicado de base al fertilizar en el momento de la siembra (8 a 10 kg P/ha) fue insuficiente para cubrir la exportación media del cultivo, generando balances aparentes del nutriente negativos. Al superarse los 15 kg/ha de fósforo aplicados no solo se incrementaron significativamente los rendimientos sino que se lograron balances aparente del nutriente positivos que permiten incrementar el nivel de fósforo en el suelo.

**Figura 4.**

Balance aparente de P según dosis de fertilización con P en 5 sitios representativos de la región pampeana de Argentina y 3 campañas productivas.

