

SUMAR FÓSFORO, HACE LA DIFERENCIA

FERTILIZACIÓN CON
“P” EN SOJA



MANUAL TÉCNICO FICHAS 52 A 58



FERTILIZACIÓN CON “P” EN SOJA

ÍNDICE

#52- <u>REQUERIMIENTOS DE FÓSFORO DEL CULTIVO DE SOJA</u>	1
#53- <u>DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO DEL CULTIVO DE SOJA</u>	2
#54- <u>RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN CON FÓSFORO EN EL CULTIVO DE SOJA: DOSIS</u>	3
#55- <u>RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN CON FÓSFORO EN EL CULTIVO DE SOJA: MOMENTO Y LUGAR DE APLICACIÓN</u>	5
#56- <u>CONVENIENCIA ECONÓMICA DE LA FERTILIZACIÓN FOSFORADA EN SOJA</u>	7
#57- <u>RESULTADOS DE EXPERIENCIAS DE FERTILIZACIÓN EN SOJA</u>	9
#58- <u>REQUERIMIENTOS DE FÓSFORO DE LAS PASTURAS</u>	10

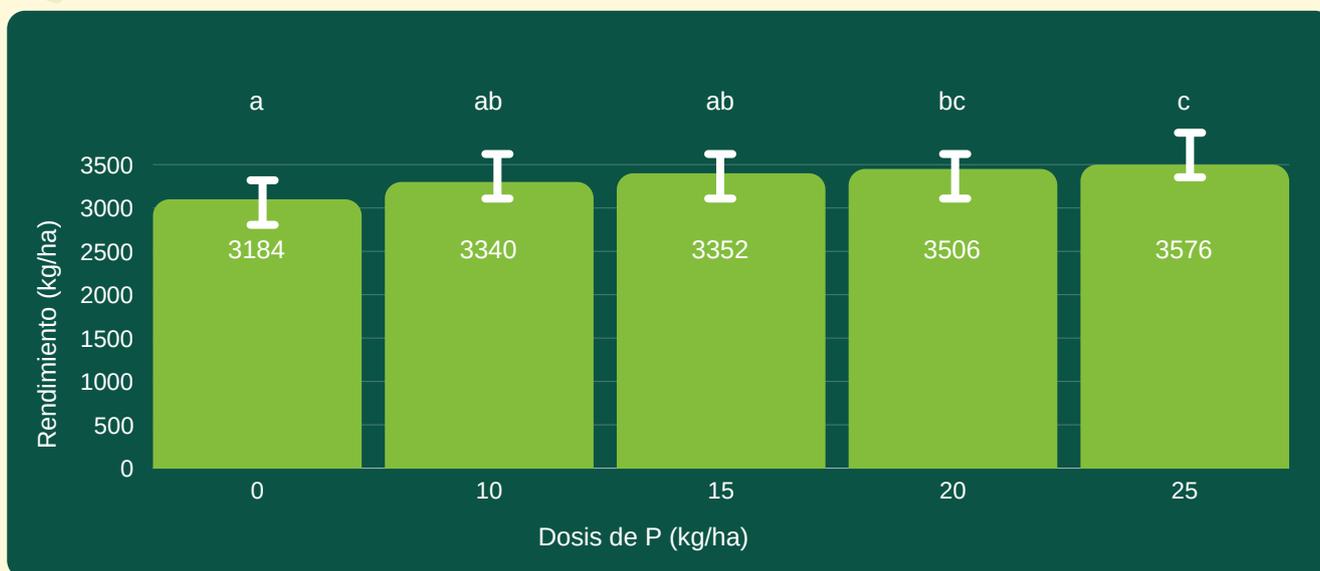


El cultivo de soja tiene una elevada demanda de fósforo para su crecimiento y un alto índice de cosecha de los nutrientes absorbidos. Las deficiencias de fósforo en el cultivo de soja se manifiestan por el bajo crecimiento de la hoja y el tallo, color verde oscuro, biomasa pequeña y menor cantidad de granos, que se traduce en menor rendimiento.

El cultivo de soja tiene una elevada demanda de fósforo para su crecimiento, ya que influye en numerosos procesos metabólicos, y además las semillas del cultivo tienen un alto valor nutricional, y por lo tanto un alto índice de cosecha de los nutrientes absorbidos

Requerimientos de fósforo del cultivo de Soja					
Requerimientos por Tn (Kg P/Tn gramo)		Requerimiento de Soja de Primera Rendimiento medio: 4.000 kg/ha		Requerimiento de Soja de Segunda Rendimiento medio: 2.500 kg/ha	
Absorción	Extracción	Absorción (Kg/ha)	Extracción (Kg/ha)	Absorción (Kg/ha)	Extracción (Kg/ha)
6,2	5,4	24,8	21,6	15,5	13,5

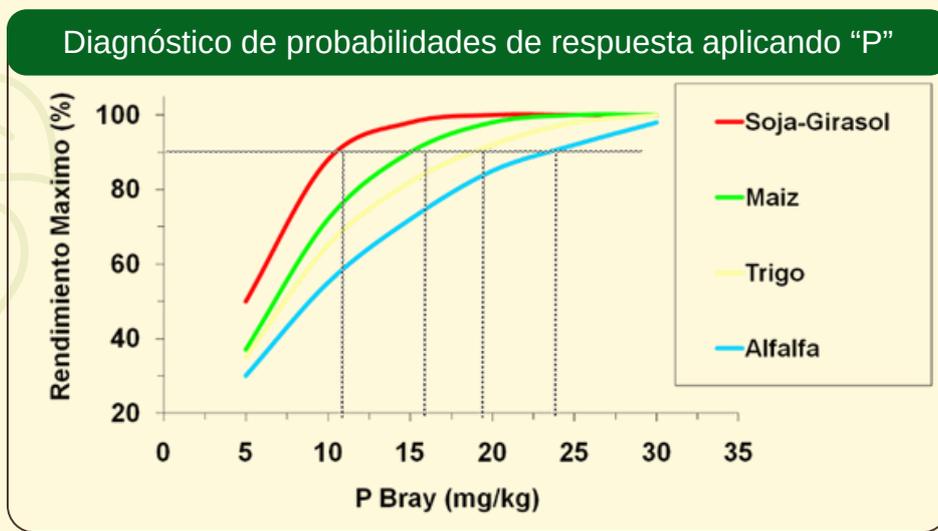
Fte: Elaboración propia. La extracción se calcula con un % de remoción (índice de cosecha) de 88 % (Ciampitti y García, 2007). Las deficiencias de fósforo en el cultivo de soja son usuales, y se manifiestan por un crecimiento aéreo y radical disminuido, menor tamaño de hojas, colores verde oscuros en hojas, biomásas más pequeñas, y finalmente un menor número de granos obtenidos que se traducen en menores rendimientos. Fte. International Plant Nutrition Institute (IPNI) – IPNI Crop Nutrient Deficiency Image Collection, Luiz Antonia Zanao Junior.



Rendimiento de Soja en función de la dosis de P (kg/ha) aplicada, en el SE Bonaerense. Fte: Peralta y Col, 2021). El peso de los granos no se afecta por deficiencias del elemento salvo en condiciones de déficits severos. El índice de cosecha, es decir la proporción de biomasa que se transforma en grano cosechable, tampoco es influido por la fertilidad fosforada. Ref. Gutierrez Boem & Thomas, 1999.

El primer paso para la planificación de la fertilización fosfatada es la detección de posibles deficiencias, que comienza con el muestreo del suelo y un análisis de laboratorio; este valor de fósforo obtenido debe contrastarse con resultados de grandes redes de ensayos. Cuando se relaciona el nivel de P-Bray con el rendimiento, puede obtenerse un umbral o “nivel crítico” que determina el nivel de fósforo por debajo del cual son esperables respuestas. Es importante resaltar que los umbrales críticos para un cultivo son similares entre zonas.

La planificación de la fertilización fosfatada comienza con el muestreo del suelo y un análisis de laboratorio: determinación de fósforo extractable (en la Región productiva argentina el método más difundido de extracción es el Bray & Kurtz 1) a 0-20 cm de profundidad. Este valor de fósforo obtenido debe contrastarse con resultados de grandes redes de ensayos donde se relacionan contenidos de fósforo extractable con rendimientos o respuestas esperables a la fertilización con fósforo del cultivo de soja.



Ftes: *García y Col., 2014*. Cuando se relaciona el nivel de P-Bray con el rendimiento puede obtenerse un umbral o “nivel crítico” que determina el nivel de fósforo por debajo del cual son esperables respuestas de magnitud en rendimiento a la aplicación de fertilizante fosfatado. Los valores críticos obtenidos en las redes de ensayo para el cultivo de soja oscilan en la Región Pampeana entre 8 y 16 ppm de fósforo extractable (Bray y Kurtz 1). En zonas del NOA, fuera de la Región Pampeana, se informaron niveles críticos de 13 ppm

Zona	Valores críticos (ppm)	Fuentes
Santa Fe y Buenos Aires	9 - 14	Melgar y Col. 1995
Entre Ríos	9,5	Barbageleta y Col. 2001 - Melchiori y Col. 2002
Santa Fe, Buenos Aires y SE Córdoba	8 - 12,4	Echeverría y Col. 2002
SE de Buenos Aires	8 - 12	Calviño y Redolatti, 2004
Centro de Santa Fe	12 - 17	Fontanetto y Col. 2008
SO de Córdoba	12 - 15,5	Espósito y Col. 2008
S de Santa Fe y SE de Córdoba	9,5 - 12	Gutiérrez Boem y Col 2010
Sur de Santa Fe	14,3	Sucunza y Col. 2018
Tucumán	13	Sánchez y Lizondo, 1999; Morandini y Col 2002

Es importante resaltar que los umbrales críticos para un cultivo son similares entre zonas y, especialmente no son afectados por el nivel de rendimiento o producción de los cultivos, siendo similares entre ambientes de alto y bajo potencial de rendimiento.



El principal ítem por definir, en el caso de querer planificar la fertilización de un cultivo de soja, es la dosis a aplicar por unidad de superficie. Si los contenidos de fósforo son intermedios, se sugiere la aplicación de dosis que sean por lo menos iguales a la extracción esperada por el cultivo, Si la disponibilidad de fósforo en el suelo es elevada en general se recomienda no fertilizar o fertilizar con alguna dosis de reposición de lo extraído, Por último, si los contenidos de fósforo son bajos, se sugiere una fertilización que, además de cubrir lo extraído por el cultivo, agregue una cantidad extra de fósforo.

En algunos casos, es conveniente realizar un análisis de posible respuesta a la aplicación de fósforo, de modo de poder calcular hasta qué nivel de fósforo extractable es económicamente conveniente la aplicación de fertilizante fosforado.

Un caso particular para la elección de la dosis se da en los cultivos de soja de segunda; en este caso, la estimación de la dosis de fósforo, si se aplica a principios de la secuencia, debería cubrir los requerimientos del antecesor (trigo o cebada) y de la soja.

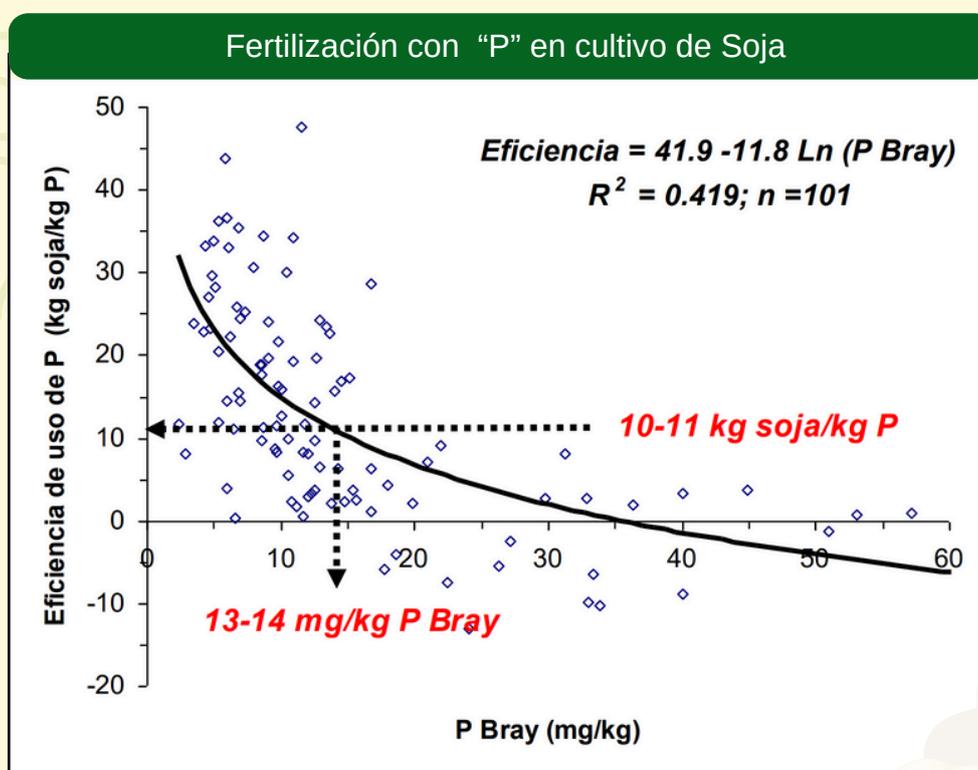
El principal ítem por definir en el caso de querer planificar la fertilización de un cultivo de soja, independientemente de si es soja de primera o de segunda, es la dosis a aplicar por unidad de superficie. Si los contenidos de fósforo son intermedios (fósforo extractable entre 18 y 30 mg kg⁻¹), se sugiere la aplicación de dosis que sean por lo menos iguales a la extracción esperada por el cultivo, es decir una estrategia de mantenimiento, teniendo en cuenta que la soja exporta con sus granos 5,4 kilogramos de fósforo elemento por tonelada de grano producida. Si la disponibilidad de fósforo en el suelo es elevada (mayor a 30 mg kg⁻¹), en general se recomienda no fertilizar o fertilizar con alguna dosis de reposición de lo extraído, de una magnitud que depende del nivel de precios del fertilizante fosforado en el año donde se piensa aplicar. La dosis a aplicar debería ser algo menor a la dosis “de mantenimiento”. En cambio, si los contenidos de fósforo son bajos (menores a 15-17 mg kg⁻¹), se sugiere una fertilización que, además de cubrir lo extraído por el cultivo, agregue una cantidad extra de fósforo (estrategia de reconstrucción o enriquecimiento), de modo de ir elevando paulatinamente los niveles de fósforo del suelo. Aunque no hay recetas únicas, se han generado algunas propuestas de recomendación de fertilización con fósforo para el cultivo de soja como la propuesta por Echeverría y García (1998), que integran la probabilidad de respuesta (estimada a través del P Bray) y la cantidad necesaria para reponer el fósforo extraído (estimada a través del rendimiento probable del cultivo).

Concentración de P Bray en el suelo (mg/kg)

	Menos de 4	4-6	6-8	8-11	11-16
ton/ha	19	14	12	10	
2	18	45	0	0	
2,5	21	17	15	13	
3	24	20	17	16	11
3,5	27	22	20	18	14
4	29	25	23	21	16
4,5	32	28	25	24	19

Recomendación de dosis de fósforo (kg P/ha) para el cultivo de soja

En algunos casos, es conveniente realizar un análisis de posible respuesta a la aplicación de fósforo, de modo de poder calcular hasta qué nivel de fósforo extractable es económicamente conveniente la aplicación de fertilizante fosforado para subir en determinada cantidad los niveles de fósforo extractable en el suelo. Existen modelos basados en grandes cantidades de datos, que relacionan las eficiencias de uso con los niveles de fósforo extractable del suelo, por lo que la dosis a aplicar debería calcularse para aumentar los niveles de fósforo extractable hasta niveles en que la eficiencia de uso (kilogramos de grano extra obtenidos por kilogramo de fósforo del fertilizante) sea igual a la relación de precios (kilogramos de grano necesarios para pagar 1 kg de fósforo de fertilizante); si se fertiliza con dosis mayores, la eficiencia baja, por lo que los kilogramos de grano obtenidos no pagan el fertilizante aplicado. Por ejemplo, en el modelo de García (2005) para la Región Pampeana, si la relación de precios fertilizante:grano es de 10:1, convendría aplicar dosis de fertilizante para alcanzar niveles de P-Bray por encima de los 13 mg kg⁻¹.



Un caso particular para la elección de la dosis se da en los cultivos de soja de segunda, es decir cuando se siembra inmediatamente después de la cosecha de un cereal de invierno, usualmente trigo. En este caso, la estimación de la dosis de fósforo, que se suele dar en una aplicación única a la siembra del cereal, debería cubrir los requerimientos de ambas especies. En la práctica, finalmente las cantidades de fósforo P que se aportan muchas veces no alcanzan a cubrir siquiera las necesidades del primer cultivo, por lo que el cultivo de soja de segunda crece con la oferta única de fósforo del suelo, deteriorando en general la 84 fertilidad química de este recurso. Como valores orientativos, se debería considerar una extracción del cereal de 4 kg de P por hectárea por cada 1000 kg de grano de trigo o cebada producidos; a esta demanda debería sumarse la requerida por el cultivo de soja subsiguiente.

Ciampitti, I.A. y F.O. García. 2007. *Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales. IPNI. Informaciones Agronómicas 33. Archivo Agronómico 11: 13-16.*



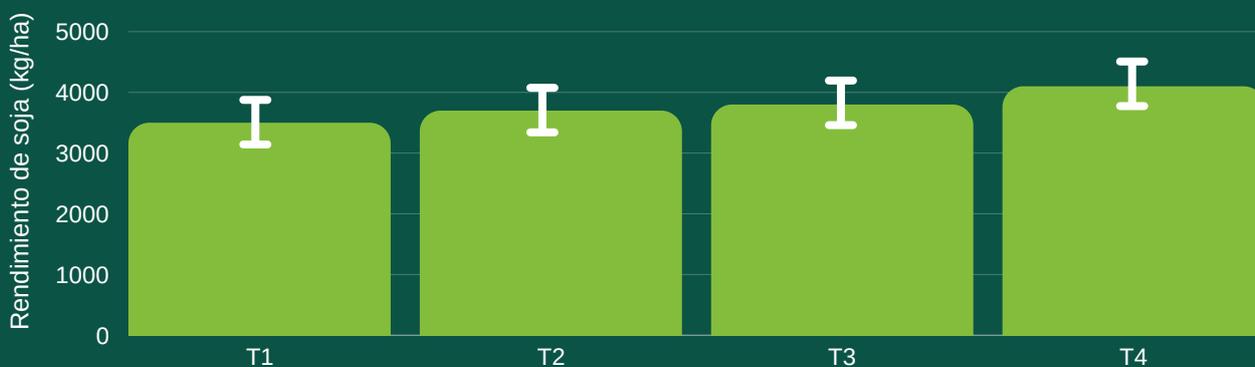
No es necesaria la aplicación del fósforo estrictamente en el momento de la siembra, puede realizarse antes, en algún momento logísticamente oportuno. Aplicar una parte del fósforo aplicado anticipadamente y otra a la siembra, parece la estrategia con mejor performance en la productividad y operatividad final.

La aplicación concentrada en determinadas zonas favorece la llegada de las raíces de diferente tamaño al elemento. No obstante, se ha visto en repetidas ocasiones que aplicaciones de fósforo al voleo en cobertura total o localizado cerca de la semilla tienen resultados similares. Las aplicaciones al voleo en superficie son una alternativa de manejo de la fertilización con P, tanto por no presentar riesgos sobre la implantación, como por razones logísticas.

Otra cuestión importante es que en general las respuestas a la fertilización con fósforo del cultivo de segunda son de menor intensidad que las respuestas a la soja de primera.

Como vimos, debido a la escasa movilidad del fósforo, no es necesaria la aplicación del fósforo estrictamente en el momento de la siembra, puede realizarse antes, en algún momento logísticamente oportuno. Aunque es probable que la mayor parte de fósforo aplicado anticipadamente estará disponible para cuando el cultivo de soja esté creciendo activamente, de la misma manera que si fuese aplicado a la siembra, la combinación de momentos, es decir aplicar una parte del fósforo aplicado anticipadamente y otra a la siembra, parece la estrategia con mejor performance en la productividad final.

Tratamiento	Descripción	Dosis de P kg ha	Momento de aplicación	Localización
T1	Testigo	-	-	-
T2	Dosis de base P	8-15	Siembra	Localizado
T3	Dosis alta de P	25-29	Invierno	Voleo
T4	Dosis alta de P	25-29	Siembra	Voleo
T5	Dosis alta de P dividida	25-29	Invierno+Siembra	Voleo+localizado





Rendimiento medio del cultivo de soja como resultado de diferentes dosis, momentos y formas de localización de P en 12 sitios y 3 campañas de la región pampeana de Argentina. Fte: Bermudez y Col. 2014. También ligado a la escasa movilidad del fósforo en los suelos, asociada a la interacción del elemento con las arcillas del suelo y otros elementos, la ubicación localizada en altas concentraciones en profundidad, al costado y debajo de la semilla es una práctica usual en nuestros sistemas de producción. En teoría, esta aplicación concentrada en determinadas zonas favorece la llegada de las raíces de diferente tamaño al elemento. No obstante, se ha visto en repetidas ocasiones que aplicaciones de fósforo al voleo en cobertura total o localizado cerca de la semilla tienen resultados similares, aunque este último formato seguramente es más eficiente en suelos muy fijadores (arcillosos, ácidos, calcáreos, etc.), con bajos niveles de fósforo inicial o con la aplicación de bajas dosis de fertilizante, y es la forma más habitual de realizar esta tarea, que se realiza con la misma sembradora el día de la siembra.

Como ya se mencionó, se debe guardar precaución con este modo de aplicación porque debido a efectos salinos o de fitotoxicidad por amoníaco (en el caso de aplicar fosfatos de amonio), el contacto directo de los fertilizantes con las semillas interfiere en su normal germinación y emergencia pudiendo reducir la cantidad de plantas logradas. Las aplicaciones en superficie son una alternativa de manejo de la fertilización con P, tanto por no presentar riesgos sobre la implantación, permitiendo aportar mayores dosis del nutriente, como por razones logísticas, mejorando la operación de siembra. Las consideraciones realizadas son válidas tanto para cultivos de soja de primera como de soja de segunda, es decir, el que se siembra inmediatamente después de un cultivo de trigo o cebada. No obstante, es una realidad muy habitual que, en el caso de cultivos de segunda, solo se fertilice a la siembra del antecesor (trigo o cebada) con una cantidad de fósforo que se supone debería alcanzar para los dos cultivos. Otra consideración importante es que las respuestas a la fertilización con fósforo del cultivo de segunda son de menor intensidad que las respuestas a la soja de primera; esta respuesta diferencial puede deberse a que la disponibilidad de humedad y de otros nutrientes suele ser menor a la que suelen enfrentar los cultivos de soja de primera, especialmente cuando el cereal de invierno previo a la soja de segunda genera elevados niveles de biomasa y de rendimiento.

Fte: Ferraris y Traficante, 2021



El resultado económico de la fertilización con fósforo requiere evaluar los costos asociados con la aplicación del fertilizante y compararlo con el beneficio económico que se podría obtener por incrementar los rendimientos. Como primer paso, es importante la búsqueda de información de las respuestas en producción de soja a la fertilización con fósforo. Aun en años donde los precios de los fertilizantes son costosos en términos de cuántos kilogramos de grano son necesarios para comprarlos, la rentabilidad positiva de la fertilización con fósforo del cultivo de soja es indiscutible.

Es importante considerar que además del retorno en el primer año, existen efectos residuales de la fertilización que generan beneficios en productividad de cultivos posteriores en el mediano plazo.

El resultado económico de la fertilización con fósforo requiere evaluar los costos asociados con la aplicación del fertilizante y compararlo con el posible beneficio económico que se podría obtener por incrementar los rendimientos. Esto implica considerar el costo del fertilizante y el ingreso adicional, ya que los costos de aplicación son menores debido a que se suele aplicar con la misma sembradora; en caso de que la aplicación tenga un costo considerable, debe incluirse en el análisis de rentabilidad. Entonces como primer paso es importante la búsqueda de información de las respuestas en producción de soja a la fertilización con fósforo en las condiciones ambientales (clima, suelo, etc.) y de manejo (variedad, fecha de siembra, densidad, etc.) lo más parecidas posible a las condiciones donde se va a desarrollar el cultivo. Como para tener una idea general de cuánto responde el cultivo de soja a la fertilización fosforada en suelos con bajos niveles de fósforo (menores a 10 ppm), se han informado respuestas medias en la Región Pampeana que van entre 16 kg de grano por kg de P aplicado (con dosis altas de 40 kg de P por hectárea) hasta 35 kg de grano por kg de P aplicado (con dosis bajas, 10 kg de P por hectárea) (Fte: Echeverría y Col 2002; Calviño y Redolatti 2004). Con estos datos y los precios históricos de fertilizantes fosforados como el MAP pueden armarse distintos escenarios tomando una dosis de 20 kg P/ha y una EUP media de 25 kg de grano por kg de P aplicado:

Escenario	Precio MAP (U\$/Tn)	Valor del grano (U\$/Tn)	Fertilización con 20 kg P/ha	
			Ingreso extra (U\$/ha)	Ganancia Pcial (U\$/ha)
Precios fertilizantes y grano abril 2024	884	245	122,5	108,9
Precios fertilizantes abril 2024, precio de grano 2014-2024	884	237	118,5	104,9
Precios fertilizantes 2014-2024 y grano de abril 2024	682	245	122,5	116,1
Precios fertilizantes y grano 2014-2024	682	237	118,5	112,1

Escenarios de rentabilidad marginal por la fertilización fosforada en soja, considerando dos eficiencias de uso (EUP) del fósforo diferentes, y precios de los granos y fertilizantes de marzo de 2024, y promedios entre 2014-2024. Fte: FERTILIZAR AC, 2024. Como puede verse, aun en años como el 2024 donde los precios de los fertilizantes son caros en términos de cuántos kilogramos de grano son necesarios para comprarlos, la rentabilidad positiva de la fertilización con fósforo del cultivo de soja es indiscutible, incluso teniendo en cuenta que otras fuentes citan datos de eficiencia aún mayores, no incluidos en este análisis. Aun considerando el costo de aplicación, de Escenario Precio MAP (U\$/Tn) Valor del grano (U\$/Tn) Ingreso extra (U\$/ha) Ganancia pcial (U\$/ha) Precios fertilizante y grano abril 2024 884 245 122,5 108,9 Precios fertilizante abril 2024, precio de grano 2014-2024 884 237 118,5 104,9 Precios fertilizante 2014-2024 y de grano abril 2024 682 245 122,5 116,1 Precios fertilizante y grano 2014-2024 682 237 118,5 112,1 Fertilización con 20 kg P/ha 90 entre 6 y 10 U\$ la hectárea si se aplica fuera del momento de siembra, la viabilidad económica de la fertilización es evidente. Es importante considerar que además del retorno en el primer año, existen efectos residuales de la fertilización que generan beneficios en productividad de cultivos posteriores en el mediano plazo, y, por lo tanto, en ingresos futuros, que no se incluyen en el dato de eficiencia de uso del fósforo en el año de aplicación.



Denominación	Criterio para P	Momento Aplicación	Localización	Dosis S Siembra kg/ha	Dosis Zn kg/ha
T1	Testigo	-	-	SC 100	-
T2	Reposición	Siembra Junio	Voleo	SC 100	-
T3	Suficiencia Arrancador	Siembra Noviembre	Localizado	SC 100	-
T4	Reposición Dividida	Anticipado Junio Siembra Noviembre	Voleo Localizado	SC 100	-
T5	Reposición P	Siembra Noviembre	Localizado	SC 100	1,5 kg/ha suelo + 0,4 kg/ha Zn foliar
T6	Reposición sin S	Siembra Noviembre	Localizado	SC 0	-

	Tratamiento	P-Bray (mg/kg)	S-Sulfatos (mg/kg)
T1	Testigo	12,4	7,2
T2	Reposición	44,3	7,9
T3	Arrancador	18,1	7,5
T4	Reposición dividida	37,8	7,4
T5	Reposicion P	43,1	8,0
T6	Reposición un B	41,0	8,8

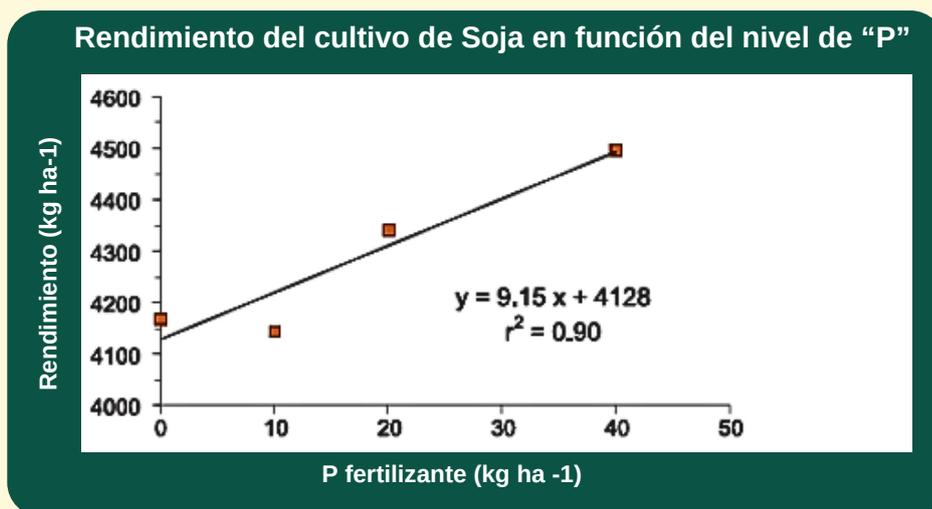
Rendimiento (kg ha⁻¹) de trigo/soja y concentración de proteína en trigo (Ciclo 2017/18) como resultado de la residualidad de estrategias de fertilización en soja continuadas durante siete campañas (2010-2017). General Arenales, N de Buenos Aires. Ferraris y Col., 2019.

Son muchos y contundentes los resultados de respuestas positivas del cultivo de soja al agregado de fósforo en Argentina, en suelos y ambientes totalmente contrastantes, lo cual indica una generalización de su deficiencia. Los cultivos de soja de segunda, muchas veces escasamente fertilizados, también presentan respuestas interesantes a la aplicación de fósforo. Finalmente, cuando se mantienen estrategias de fertilización por varios años, las repuestas se vuelven más consistentes, estabilizando los rendimientos en valores más altos.

Son muchos y contundentes los resultados de respuestas positivas del cultivo de soja al agregado de fósforo en Argentina, en suelos y ambientes totalmente contrastantes, lo cual indica una generalización de su deficiencia



Respuesta del cultivo de soja a la fertilización con fósforo durante la siembra. Campaña 2020/2021. Monte Redondo, Tucumán. Robledo y Col., 2021.



Rendimiento del cultivo de soja en relación a la dosis de fósforo aplicado con el fertilizante durante la siembra. Campaña 2004/2005. Molina, Santa Fe. Salvaggiotti y Col., 2005.



Rendimiento del cultivo de soja del testigo y de 2 dosis de fósforo aplicado con el fertilizante. Campaña 2002/2003. Concepción del Uruguay, Entre Ríos. Elaborado con datos de Arias y Col., 2006. Los cultivos de soja de segunda, muchas veces escasamente fertilizados, también presentan respuestas interesantes a la aplicación de 40 kg/ha de fósforo a la siembra del trigo, como se ve en las respuestas a este nutriente en 2 sitios de la red de ensayos del CREA Sur de Santa Fe:

TRATAMIENTO	M - T/S		
	Balducchi	San Alfredo	Promedio
	Rendimiento (kg ha ⁻¹)		
Testigo	3024	1099 c	2061
PS	4480	2143 b	3312
NS	3757	2353 b	3055
NP	3608	2409 b	3009
NPS	4751	2988 a	3869
Completo	4757	3133 a	3945
DMS (5%)	-	374	-
NUTRIENTE	Respuestas (kg ha ⁻¹)		
N	271	844	558
P	994	635	814
S	1143	579	861
PS	1456	1045	1250
NS	734	1254	994
NP	585	1310	948
NPS	1728	1889	1808
Otros #	6	145	76

Rendimientos de trigo para los seis tratamientos evaluados y respuestas a diferentes combinaciones de N, P, S y otros nutrientes en los dos ensayos. Promedios de tres repeticiones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Soja de segunda.



Campaña 2015/16. Fte: Boxler y Col., 2016. Finalmente, cuando se mantienen estrategias de fertilización por varios años, las repuestas se vuelven más consistentes, estabilizando los rendimientos en valores más altos. Por ejemplo, en la red de Estrategias de Larga Duración de FERTILIZAR pueden verse los resultados acumulados de la aplicación de fósforo a dosis bajas (Base: 8 a 15 kg P/ha) y altas (25-30 kg P/ha) sobre los rendimientos del cultivo de soja en sitios de 3 provincias de la Región Pampeana:



Los datos hallados se confirman en un análisis más reciente, con aplicaciones entre 7 y 34 kg de P/ha en otros sitios de 4 provincias de la Región Pampeana:



Recomendación	Unidades	Respuesta del cultivo de Soja
Rendimientos medios	Kg ha ⁻¹	258,1
Alta Producción	Kg ha ⁻¹	550,7