



## ¿Cuántos kilogramos de fósforo se necesitan para incrementar 1 ppm (partes por millón) de P-Bray en un Argiudol?

Biassoni, M.M.<sup>1</sup>; Gutiérrez Boem, F.H.<sup>2</sup>; Vivas, H.<sup>3</sup>, Salvagiotti, F.<sup>1</sup>

1 INTA EEA Oliveros - 2 Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires - 3 Asesor independiente.



Palabras clave: suelo - fósforo - cultivos - fertilización

### Introducción

El fósforo (P) es un nutriente esencial en la producción de cultivos (Raghothoma, 2005), de baja movilidad en el suelo y su manejo de la fertilización es importante para la sustentabilidad de los sistemas de producción a largo plazo (Sharpley A. N., 2018).

El indicador más utilizado para diagnosticar la deficiencia de P en el suelo asociada a la respuesta de los cultivos a la fertilización con P en la región es el método Bray-1 extraído con 0,03M NH<sub>4</sub>F y 0,1M HCl (Ferraris *et al.*, 2002; Salvagiotti *et al.*, 2004). Este indicador puede incluir no sólo el contenido de P fácilmente disponible en la solución del suelo, sino también diferentes formas químicas usualmente denominadas como pool lábil de P en el suelo (Thomas Sims y Pierzynski, 2005; Ciampitti *et al.*, 2011), y ha sido utilizado para recomendaciones de fertilización con P tanto para criterios de suficiencia como de construcción de los niveles de P en el suelo (Sucunza *et al.*, 2018).

Cuando se aplican fertilizantes fosfatados, sólo 10-20 % del fertilizante de P aplicado es utilizado por los cultivos y alrededor del 80 % puede acumularse en el suelo como P residual en formas inorgánicas u orgánicas que pueden ser liberadas y estar disponibles en cultivos posteriores (Black, 2013). Entonces,

las aplicaciones repetidas de fertilizantes fosfatados en cantidades superiores a las absorbidas por el cultivo resultarán en una acumulación de P en el suelo, y esto dependerá de la dosis de P aplicadas y de la extracción de P por los cultivos en el largo plazo.

El objetivo de este trabajo fue: cuantificar el balance de P y los cambios en el contenido de P-Bray 1 del suelo en respuesta a diez años de aplicaciones continuas de P aplicadas a gramíneas en un suelo Argiudol de Santa Fe.

### Materiales y métodos

El estudio se realizó en un experimento de 10 años de larga duración (2000-2010), cuyo objetivo fue estudiar el efecto de diferentes dosis de fertilización con P y S sobre la fertilidad del suelo y la producción de cultivos en una secuencia de maíz, soja de ciclo completo y doble cultivo trigo/soja sembrados bajo siembra directa. El experimento se localizó en Bernardo de Irigoyen, Santa Fe, Argentina (32°10'01"S 61°09'20"O) sobre un suelo Argiudol típico serie Clason (textura franco limosa, 24 % Arcilla, 3 % Arena y 72 % Limo) con más de 50 años de agricultura continua.

El diseño del experimento fue una combinación de tres dosis de fertilización con P (0, 20 y 40 kg P ha<sup>-1</sup>) aplicadas como superfosfato triple (TSP) (20 % P) y cuatro dosis de fertilización con S (0, 12, 24 y 36 kg S ha<sup>-1</sup>) aplicadas como yeso (18 % S). La fertilización se realizó cuando se sembraron las gra-



míneas en la rotación i.e. maíz y trigo, excepto en el primer ciclo de rotación, en el que sólo se fertilizó el trigo (Figura 1). Los tratamientos se organizaron en un diseño de parcelas divididas con cuatro repeticiones.

Las muestras de suelo fueron extraídas a 20 cm de profundidad previo a la siembra de los cultivos durante el ensayo de larga duración, y al finalizar el ensayo en el año 2010, donde se determinó el P extractable (P-Bray 1) por el método Bray and Kurtz, (1945) y se determinó colorimétricamente por el procedimiento del Murphy y Riley (1962). Los balances de P del suelo se calcularon cada año durante el periodo experimental como la diferencia entre el P aplicado como fertilizante y el P exportado por los granos. La remoción de P se calculó multiplicando el rendimiento en grano de todos los cultivos de la rotación (en base a la materia seca) y una concentración de P en grano estimativa (Sucunza *et al.*, 2018). Estos valores para soja fueron 5,44 y 6,04 mg P g<sup>-1</sup>; para maíz 3,09 y 3,37 mg P g<sup>-1</sup>; y para trigo 3,68 y 3,87 mg P g<sup>-1</sup>, para los tratamientos sin fertilizar y fertilizado, respectivamente.

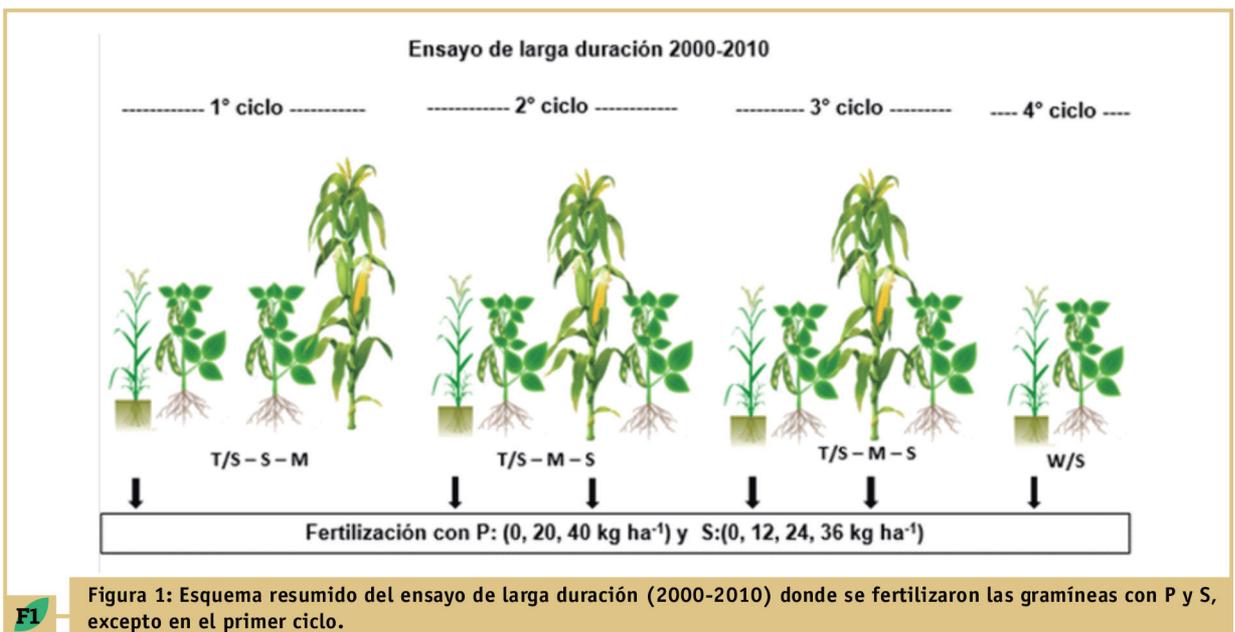
Los datos obtenidos fueron analizados mediante ANOVA, y las medias de los tratamientos fueron comparadas mediante la prueba LSD ( $\alpha=0,05$ ). Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011). Las relaciones entre los contenidos de P-Bray 1 en el suelo en los diez años, y entre el balance de P acumulado fueron evaluadas mediante regresiones lineales.

## Resultados

Después de 10 años de experimento, la aplicación acumulada de P fue de 0, 120 y 240 kg P ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 1), con una extracción de 184, 217 y 221 kg P ha<sup>-1</sup>, respectivamente por granos de los cultivos. Esta extracción produjo un balance negativo de -184 kg ha<sup>-1</sup> y -97 kg P ha<sup>-1</sup>, para los tratamientos que recibieron 0 y 120 kg P ha<sup>-1</sup>, y el balance sólo fue positivo con 19 kg P ha<sup>-1</sup> cuando el cultivo recibió 240 kg P ha<sup>-1</sup> (Tabla 1).

Al inicio del experimento, la concentración de P-Bray 1 era de 11 mg kg<sup>-1</sup> (Fontanetto *et al.*, 2003) y después de 10 años, el contenido de P disminuyó en el tratamiento testigo a 6 mg kg<sup>-1</sup>, lo que significó una tasa media anual de -0,5 mg P kg<sup>-1</sup> (Figura 2). Sin embargo, los tratamientos que recibieron 120 kg P ha<sup>-1</sup> y 240 kg P ha<sup>-1</sup> aumentaron el contenido de P-Bray 1 a 13 y 26 mg kg<sup>-1</sup>, lo que significó una tasa media anual de 0,2 y 1,6 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 2).

Asimismo, cuando se relacionó el P-Bray 1 del suelo al finalizar en ensayo de larga duración (eje Y) en función del balance acumulado de P luego de diez años (eje X) se observó una relación positiva ( $r^2=0,46$ ) mostrando a través de la ecuación un aumento de 0,2 mg kg<sup>-1</sup> por unidad de balance de P acumulado (Figura 3). Además, resolviendo la ecuación ( $1/0,2=5$ ) se concluye que se necesitaron 5 kg P ha<sup>-1</sup> por encima de la extracción de los cultivos para incrementar 1 mg kg<sup>-1</sup> P-Bray 1 del suelo (Figura 3).



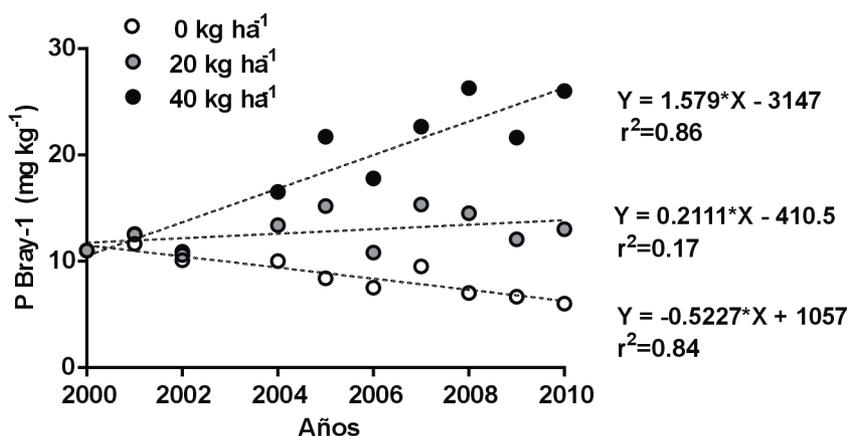
F1

Figura 1: Esquema resumido del ensayo de larga duración (2000-2010) donde se fertilizaron las gramíneas con P y S, excepto en el primer ciclo.



**T1** Tabla 1: P total aplicado, P extraído por los granos, balance de P y cambios en la concentración de P Bray-1 en respuesta a tres dosis de fertilización con P aplicadas durante 10 años en un suelo Argiudol de Santa Fe.

Dosis de P	P total acumulado luego de diez años	P extraído por granos luego de diez años	Balance de P	Cambios en P- Bray 1 (mg kg <sup>-1</sup> )
	kg ha <sup>-1</sup>			
0 kg P ha <sup>-1</sup>	0	184	-184	-5
20 kg P ha <sup>-1</sup>	120	217	-97	2
40 kg P ha <sup>-1</sup>	240	221	19	15



**F2** Figura 2: Evolución en la concentración de P-Bray 1 a 0-20 cm durante 10 años de tratamiento según dosis de P aplicadas.

## Discusión

La disminución del P disponible en el suelo en sistemas agrícolas que normalmente no reciben fertilización con P (es decir, con balances de P negativos) sigue generalmente una tendencia exponencial que depende del tipo de suelo y del contenido inicial del P disponible (Sucunza *et al.*, 2018; Appelhans *et al.*, 2021). En el presente estudio, la disminución de ca. 45 % del P-Bray 1 observada en el tratamiento que no recibió fertilización con P, ha sido previamente demostrada en suelos similares, con valores iniciales de P-Bray 1 del suelo entre 6,1 y 67,7 mg kg<sup>-1</sup> después de 7 a 17 años sin fertilización con P (Sucunza *et al.*, 2018; Appelhans *et al.*, 2021).

En suelos con bajos contenidos de P, las dosis recomendadas de fertilización fosfatada deben primero suplir las demandas de P del cultivo (es decir, balances de P=0). De esta manera, el abastecimiento de P por encima de este requerimiento, producirán balances positivos de P en el suelo, mejorando así la fertilidad fosfatada del suelo. Este estudio mostró un balance de P positivo cuando se evaluó la dosis más

alta de fertilización, con incrementos de hasta 136 % en el P-Bray 1 del suelo después de aplicar 240 kg P ha<sup>-1</sup> durante 10 años. La relación entre el P-Bray 1 del suelo y el balance de P mostró que fueron necesarios 5 kg P ha<sup>-1</sup> para incrementar el P-Bray 1 del suelo en 1 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3), ligeramente superior a los 3,2 kg P ha<sup>-1</sup> estimados previamente en suelos similares de la región (Sucunza *et al.*, 2018). Asimismo, los valores obtenidos fueron cercanos a los estimados por Rubio *et al.*, (2008) quienes estimaron utilizando incubaciones de suelo, el incremento de P disponible en el suelo por unidad de P aplicado (es decir, el coeficiente b) en 71 suelos de la región pampeana. El resultado fue un promedio de 0,52, lo que significa que se necesitaron 4,61 kg P ha<sup>-1</sup> para incrementar 1 mg kg<sup>-1</sup> de P-Bray 1.

La dosis de fertilización con P más frecuentemente utilizada por los productores de alta tecnología en la región pampeana es alrededor de 20 kg P ha<sup>-1</sup> (Di Mauro *et al.*, 2022), por lo que fue la dosis de P intermedia estudiada en el presente trabajo. Curiosamente, esta dosis que representó 120 kg P ha<sup>-1</sup> acu-

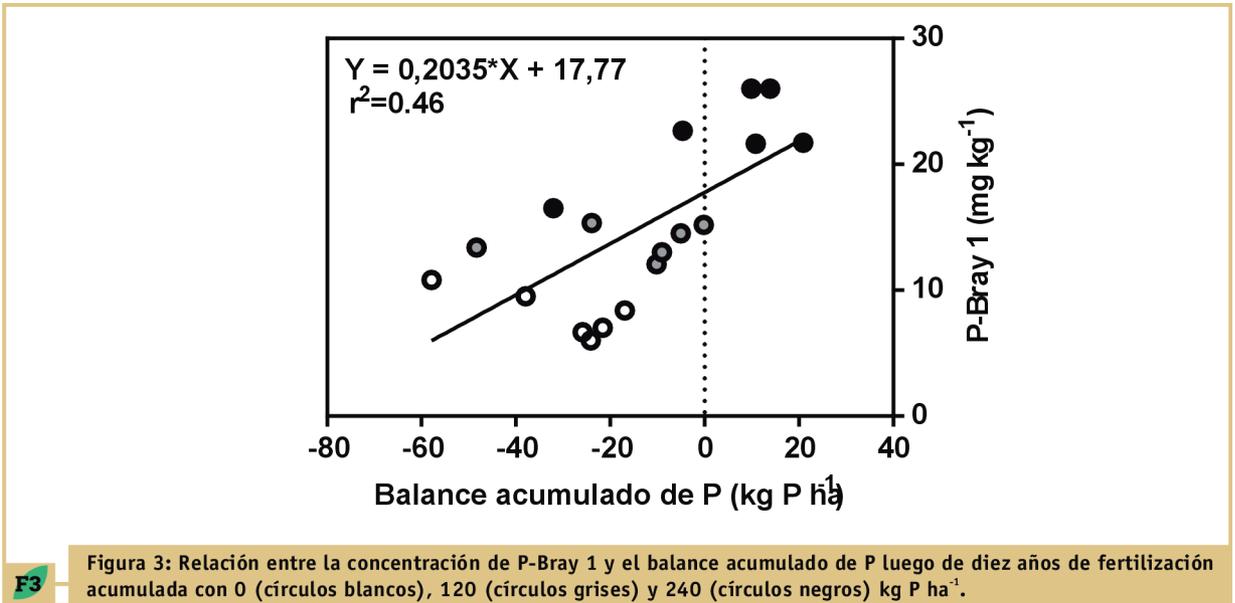


Figura 3: Relación entre la concentración de P-Bray 1 y el balance acumulado de P luego de diez años de fertilización acumulada con 0 (círculos blancos), 120 (círculos grises) y 240 (círculos negros) kg P ha<sup>-1</sup>.

mulados después de 10 años de tratamiento, mostró un incremento del P-Bray 1 de ca. 18 % con respecto a los valores observados al inicio del experimento, incluso cuando el balance de P aparente fue negativo. Una probable explicación para este incremento en el P disponible con un balance negativo de P puede haber sido que: i) debido a que las raíces de los cultivos también absorben el P por debajo de los 20 cm de profundidad, entonces, una proporción del P aplicado como fertilizante no fue aprovechado por los cultivos, y por lo tanto, incrementó el P disponible en el suelo, o ii) una proporción del P absorbido por los cultivos no proviene del P representado por el método Bray 1, ya que como fue demostrado por Biassoni *et al.*, (2023), el cultivo también puede aprovechar el P de otras fracciones del suelo i.e. Pi-NaHCO<sub>3</sub>, Pi-NaOH y Pi-HCl 1 M. Entonces, cuando la fertilización con P está por encima de la demanda del cultivo, este P adicional que se refleja en incrementos del P-Bray 1 debería también reflejarse en incrementos en otros pools del suelo que indican un efecto residual de la fertilización con P.

### Conclusión

Luego de 10 años de aplicación acumulada de fertilizantes con tres dosis de P: 0, 120 y 240 kg P ha<sup>-1</sup> acumulados, se observaron balances negativos para la dosis de 0 y 120 kg P ha<sup>-1</sup>, mientras que la dosis de 240 kg P ha<sup>-1</sup> mostró un balance positivo. Asimismo, el P proveniente de los fertilizantes y que no fue absorbido por los cultivos incrementó la concentración de P-Bray 1 del suelo a una tasa media anual de 0,2 y 1,6 mg kg<sup>-1</sup> para la dosis de 120 y 240 kg P ha<sup>-1</sup>, respectivamente, concluyendo que se necesitaron 5 kg P ha<sup>-1</sup> por encima de la extracción de los cultivos para incrementar 1 mg kg<sup>-1</sup> P-Bray 1 del suelo.



## Bibliografía

Appelhans, S. C., Carciocchi, W. D., Correndo, A., Gutiérrez Boem, F. H., Salvagiotti, F., García, F. O., ... & Ciampitti, I. A. (2021). Predicting soil test phosphorus decrease in non-P-fertilized conditions. *European Journal of Soil Science*, 72(1), 254-264.

Biassoni, M. M., Vivas, H., Gutiérrez-Boem, F. H., & Salvagiotti, F. (2023). Changes in soil phosphorus (P) fractions and P bioavailability after 10 years of continuous P fertilization. *Soil and Tillage Research*, 232, 105777.

Black, C. A. (2013). *Soil fertility evaluation and control*. CRC Press.

Ciampitti, I. A., Picone, L. I., Rubio, G., & García, F. O. (2011). Pathways of phosphorous fraction dynamics in field crop rotations of the Pampas of Argentina. *Soil Science Society of America Journal*, 75(3), 918-926.

Di Mauro, G., Salvagiotti, F., Gambin, B. L., Condori, A., Gallo, S., Pozzi, R., ... & Rotundo, J. L. (2022). Assessing the impact of high-input management for reducing soybean yield gaps on high-productivity farms. *Field Crops Research*, 278, 108434.

Di Rienzo JÁ; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2011. *InfoStat versión 2011*. Córdoba Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba

Ferraris, G., Boem, F. G., & Echeverría, H. (2002). Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja de primera. *IDIA*, 21(3), 52-58.

Fontanetto H; H Vivas; R Albrecht and JL Hotian. 2003. La fertilización con N, P y S y su residualidad en una secuencia agrícola de la región central de Santa Fe. I-Efecto sobre el rendimiento de grano. *Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2003. Publicación Miscelánea N° 100*

Hedley MJ; JW Stewart and BS Chauhan. 1982. Changes in Inorganic and Organic Soil Phosphorus Fractions Induced by Cultivation Practices and by Laboratory Incubations<sup>1</sup>. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:970-976

Murphy JA & Riley, JP 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Ana. Chim. acta* 27, 31-36.

Raghothama KG. 2005. Phosphorus and plant nutrition: an overview. En: Sims, JT., A. Sharpley (eds), *Phosphorus: agriculture and the environment*. ASA, Madison, WI. p. 355-378

Salvagiotti F; G Gerster; S.Basigaluppo; J Castellarin; C Galarza; N Gonzalez; V Gudelj; O Novello; H Pedrol and P Vallone. 2004. Efectos Residuales y Directos de Fósforo y Azufre en el Rendimiento de Soja de Segunda. *Ciencia del Suelo* 22:92- 101.

Rubio, G., Cabello, M. J., Gutiérrez Boem, F. H., & Munaro, E. (2008). Estimating available soil phosphorus increases after phosphorus additions in Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*, 72(6), 1721-1727.

Sharpley, A., Jarvie, H., Flaten, D., & Kleinman, P. (2018). Celebrating the 350th anniversary of phosphorus discovery: A conundrum of deficiency and excess. *Journal of environmental quality*, 47(4), 774-777.

Sucunza, F. A., Boem, F. H. G., García, F. O., Boxler, M., & Rubio, G. (2018). Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Mollisols: Soil test trends, critical levels and balances. *European journal of agronomy*, 96, 87-95.

Thomas Sims, J., & Pierzynski, G. M. (2005). Chemistry of phosphorus in soils. *Chemical processes in soils*, 8, 151-192