

FERTILIZACIÓN CON FÓSFORO Y AZUFRE. RESIDUALIDAD PARA UNA SECUENCIA DE CULTIVOS.

Ings. Agrs. Hugo S. Vivas¹, R. Albrecht¹, J. L. Hotián² y Lic. Ad. Rur. L. Gastaldi¹.

(1) INTA EEA Rafaela, (2) Cooperativa Bernardo de Irigoyen.

hvivas@rafaela.inta.gov.ar

Introducción.

Las propiedades residuales del fósforo (P) y del azufre (S) fueron demostradas en varias oportunidades por investigaciones realizadas en suelos del centro de la provincia de Santa Fe (Martínez y Cordone, 1998; Vivas, 1996; Albrecht et al, 2000; Vivas et al, 2001; Vivas, 2003; Fontanetto et al, 2003). De igual modo y principalmente para el P, otros investigadores encontraron similares características residuales (Berardo y Grattone, 2000; Barrow, 1980).

La proyección de los beneficios nutritivos y económicos de dichos elementos para más de un cultivo posiciona a los mismos como una herramienta adecuada para su utilización en una secuencia o rotación. Kamprath (1967) demostró esta propiedad con el P, donde luego de fertilizar con una cantidad considerable de este nutriente, obtuvo buenos rendimientos en maíz durante varias cosechas. Respecto al S, sus efectos residuales fueron positivos para varios cultivos en un suelo franco limoso del centro de Santa Fe (Vivas et al, 2001).

Como la finalidad de cualquier proceso agronómico es conciliar la producción física con la sustentabilidad del recurso natural y el ambiente, no solo es importante conocer las deficiencias de los nutrientes necesarios para aumentar los rendimientos de los cultivos, sino también su correcta utilización en cantidad y forma.

El objeto del presente trabajo consistió en evaluar diferentes dosis de P y S y sus efectos residuales en la producción de cultivos de una secuencia, en una estrategia de fertilización cada dos cosechas.

Material y método.

La rotación utilizada fue trigo/soja-maíz-soja sobre un suelo de la serie Clason. Como en la investigación el N no constituyó una variable, el mismo fue utilizado con suficiencia tanto en trigo (60 kg/ha) como en maíz (100 kg/ha). Para el P se contemplaron tres situaciones: un testigo (P0), una dosis intermedia (P20) y otra para cubrir la extracción de dos cultivos (P40). Con el S, la variante de dosis también contempló cantidades menores pensando en las gramíneas y superiores para los requerimientos de la soja. Tanto el P como el S (tratamientos) se aplicaron en dos oportunidades: en el trigo y en el maíz para tener beneficios residuales en la soja de 2° y la soja de 1°, respectivamente. Para el doble cultivo trigo/soja se

consideró el criterio propuesto por García et al, (2001) en cuanto al suministro de nutrientes para más de una cosecha.

Los tratamientos fueron una combinación de P (0, 20 y 40 kg/ha) y de S (0, 12, 24 y 36 kg/ha) en un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde el P constituyó la parcela principal y el S las subparcelas. La unidad experimental fue de 4,2 x 12 m. El P se aplicó bajo la forma de superfosfato triple de calcio (P= 20%) y el S como yeso (S= 18%).

El contenido inicial de P extractable fue de 6 ppm, de N-NO₃⁻ de 7 ppm y S-SO₄²⁻ de 6 ppm. El fertilizante con P se incorporó con la sembradora mientras que el N y el S se distribuyeron al voleo al momento de la siembra.

La variedad de trigo utilizada fue Klein Chajá que se sembró el 26-6-2003 y se cosechó el 21-11-2003. La soja de segunda fue RA 500 que se sembró el 21-11-2003 y se cosechó el 26-4-2004. El híbrido de maíz fue Rusticana 201 sembrado el 5 de setiembre de 2004 y cosechado el 15 de febrero de 2005. La soja de 1° fue RA 418 sembrada el 10-11-2005 y cosechada el 7-4-2006. Luego de evaluar la producción de trigo y soja de 2°, como así también el maíz y la soja de 1°, se realizó un análisis del suelo superficial (0-20 cm) para determinar el P extractable residual.

Los resultados de rendimientos fueron analizados mediante el análisis de la variancia y de regresión (al 5% de significancia). Finalizada la secuencia se calculó el margen bruto (producción * precio de venta – costos directos) de la producción física acumulada para todos los tratamientos y cultivos. Se utilizaron los precios de insumos y productos correspondientes a setiembre de 2006.

Resultados.

Producción de Trigo.

Las precipitaciones previas a la siembra aseguraron una óptima recarga de agua en el perfil del suelo, aspecto relevante para este cultivo (Villar, 2000). Posteriormente, durante el ciclo, las condiciones ambientales fueron excelentes y se reflejaron en los niveles de producción (Gráfico 1).

Las diferencias de rendimiento encontradas entre los tratamientos no son frecuentes en trigo, pero se debieron a la confluencia de altos niveles de fertilización y condiciones ambientales muy favorables tanto para la fase vegetativa como para el llenado del grano. La interacción P x S no fue significativa (P>0,05) pero sí el efecto de los factores (P<0,05).

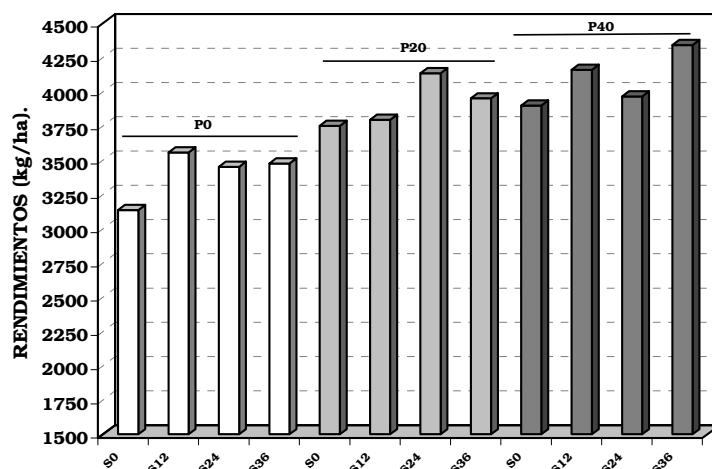


Gráfico 1. Producción de trigo con diferentes niveles de P y S dentro de la secuencia Tr/Sj-Mz1°-Sj1°. Unidad Demostrativa Agrícola Bernardo de Irigoyen. 2003.

Los incrementos de rendimiento debido al P fueron de 502 kg/ha (P20) y 686 kg/ha (P40), por sobre el testigo (P0). Los aumentos con S12, S24 y S36, respecto de S0 fueron 242 kg, 255 kg y 327 kg/ha, respectivamente.

Producción de Soja de 2°.

Al contrario del trigo, la soja de 2° se caracterizó por tener una deficiencia hídrica extrema durante su ciclo que alteró la respuesta a los fertilizantes. En los tratamientos donde la producción de trigo fue mayor, se obtuvieron los menores rendimientos de soja y viceversa (Gráfico 2).

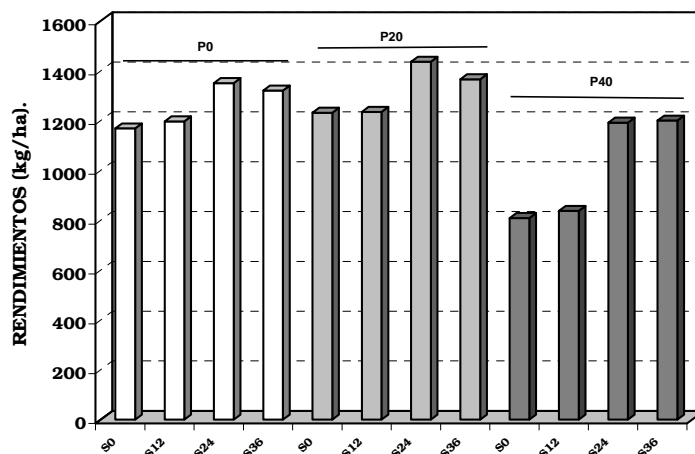


Gráfico 2. Producción de Soja de 2° con dosis residuales de P y S dentro de la secuencia Tr/Sj-Mz1°-Sj1°. Unidad Demostrativa Agrícola Bernardo de Irigoyen, 2004.

Las diferencias producidas por el S fueron significativas ($P < 0,05$) y a diferencia del P las dosis altas fueron ligeramente mayores: 1070, 1090, 1327 y 1296 kg/ha, para S0, S12, S24 y S36, respectivamente.

El contenido de P extractable residual del suelo superficial (0-20 cm) posterior al doble cultivo se aprecia en el Gráfico 3.

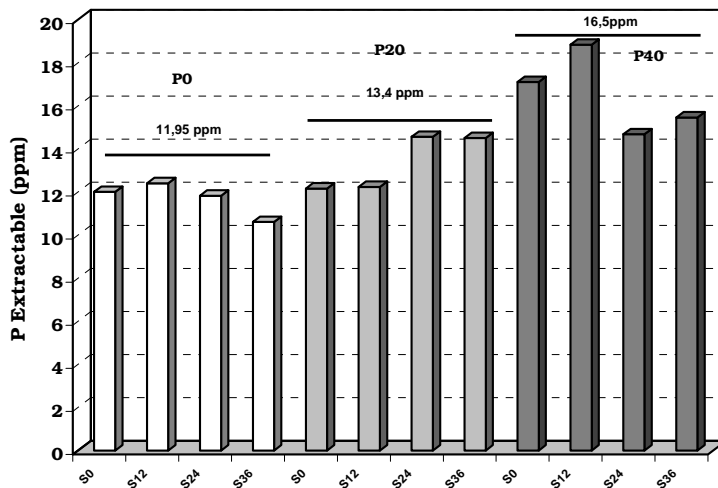


Gráfico 3. Fósforo extractable (0-20 cm) luego de producir trigo y soja en una rotación. Unidad Demostrativa Agrícola Bernardo de Irigoyen, 2004.

Para el nivel P0 el valor medio fue 11,95 ppm, para P20 de 13,4 ppm y para P40 de 16,5 ppm. Si se considera a 15 ppm como nivel deseable para una secuencia (Hanway y Olson, 1980), el único conjunto con suficiencia fue el tratamiento con P40.

Producción de Maíz de 1°.

Previo a la siembra del maíz se realizó la segunda fertilización con P y S de la secuencia, con los mismos tratamientos iniciales. En el período de interés para el cultivo las precipitaciones fueron suficientes, principalmente durante la floración.

Se detectó una interacción P x S significativa ($P < 0,05$) entre los tratamientos. Los resultados pueden verse en el Gráfico 4.

La expresión del S fue notable puesto que logró producir aumentos de rendimientos de maíz aún con niveles muy bajos de P. La interacción podría interpretarse por la diferente tendencia de los incrementos con S, tendiendo a ser cuadrática con (P0+P0) mientras que con (P20+P20) y (P40+P40) fue más lineal.

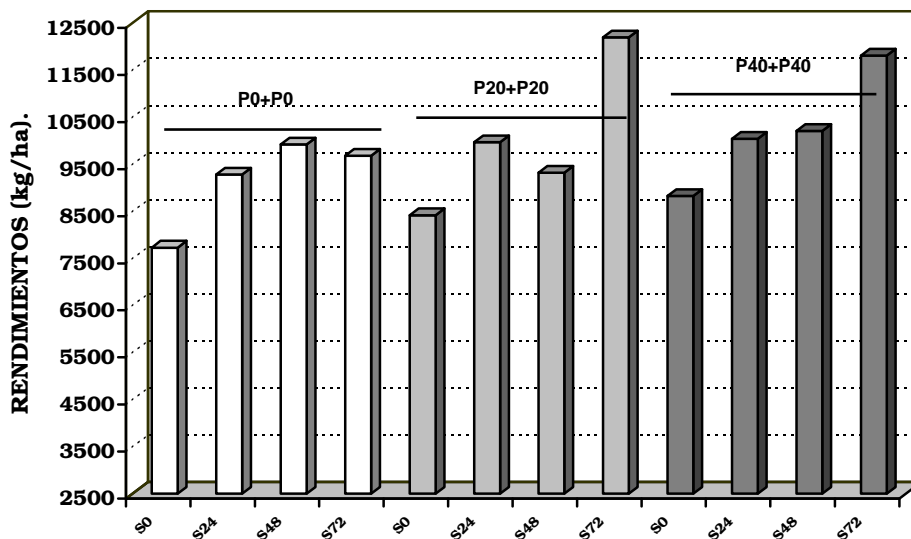


Gráfico 4. Variación de la producción de maíz por la fertilización combinada de P y S. Unidad Demostrativa Agrícola Bernardo de Irigoyen, 2005.

Luego de la segunda fertilización y la cosecha del maíz de primera, el P extractable en la capa superficial (0-20 cm) para todos los tratamientos se puede observar en el Gráfico 5.

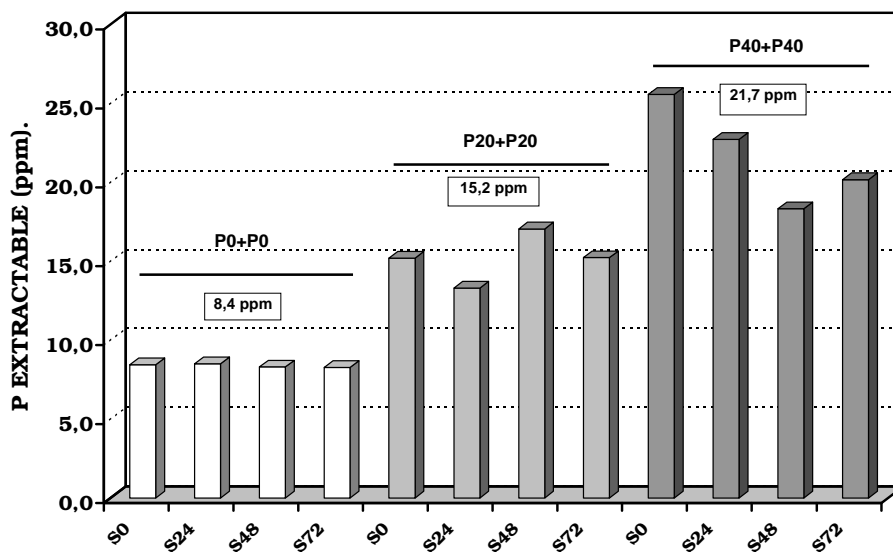


Gráfico 5. Contenido de P extractable luego de la cosecha de maíz. Unidad Demostrativa Agrícola Bernardo de Irigoyen, 2005.

Producción de Soja de 1°.

Las precipitaciones en el período de interés para el cultivo fueron suficientes hasta el mes de enero donde solo se recibió un 30% del promedio histórico (110

mm) en conjunto con elevadas temperaturas máximas que afectaron los órganos reproductivos de la soja.

La interacción P x S no fue significativa ($P > 0,05$). Se observaron diferencias para el factor S ($P < 0,05$) pero no para el factor P ($P > 0,05$). El rendimiento promedio de la experiencia fue de 2915 kg/ha, con un $R^2 = 0,61$ y un coeficiente de variación = 10,6%.

En el Gráfico 6 se pueden apreciar los rendimientos. Los valores para los niveles de P fueron muy similares y no se relacionaron con los datos de P extractable del Gráfico 5, quizás por el estrés ambiental del mes de enero.

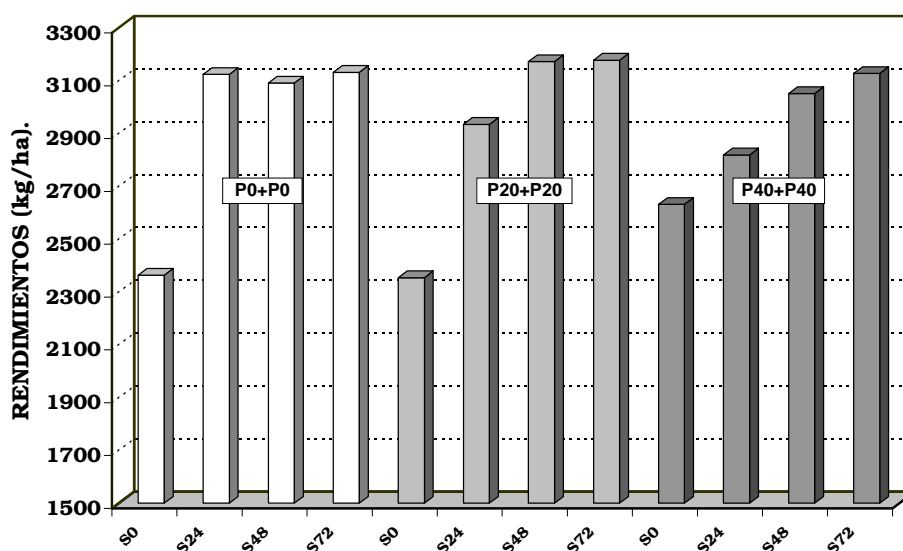


Gráfico 6. Rendimientos de soja de 1º, variedad RA 418. Efectos residuales de la fertilización con P y S. Unidad Demostrativa Agrícola Bernardo de Irigoyen, 2006.

Las diferencias por el S fueron significativas ($P < 0,05$) pero básicamente con diferencias entre el testigo y los niveles de S.

Como la interacción P x S no fue importante, se realizó un análisis conjunto de los niveles de S para todo el ensayo, independientemente del factor P. La variación de los rendimientos de soja en función de los niveles del S residual fue: $\text{rendimiento (kg/ha)} = 2462,7 + 47,90 S - 0,814 S^2$; $R^2 = 0,45$ alcanzando un máximo de producción con 29 kg/ha de S y un rendimiento de 3168 kg/ha.

Posterior a la cosecha de soja y finalizada la secuencia se tomaron muestras de suelo de todo el ensayo para analizar el P extractable, la materia orgánica y el azufre de sulfatos.

Se observó que la única estrategia de fertilización fosfatada capaz de mantener los niveles de P extractable por sobre el nivel deseable de 15 ppm, fue la correspondiente a (P40+P40) (Gráfico 7). Por lo tanto, la misma en conjunto con las dosis de S, podrían constituir una adecuada estrategia de fertilización para mantener la fertilidad, la productividad del suelo y la sustentabilidad del sistema en la región central de Santa Fe.

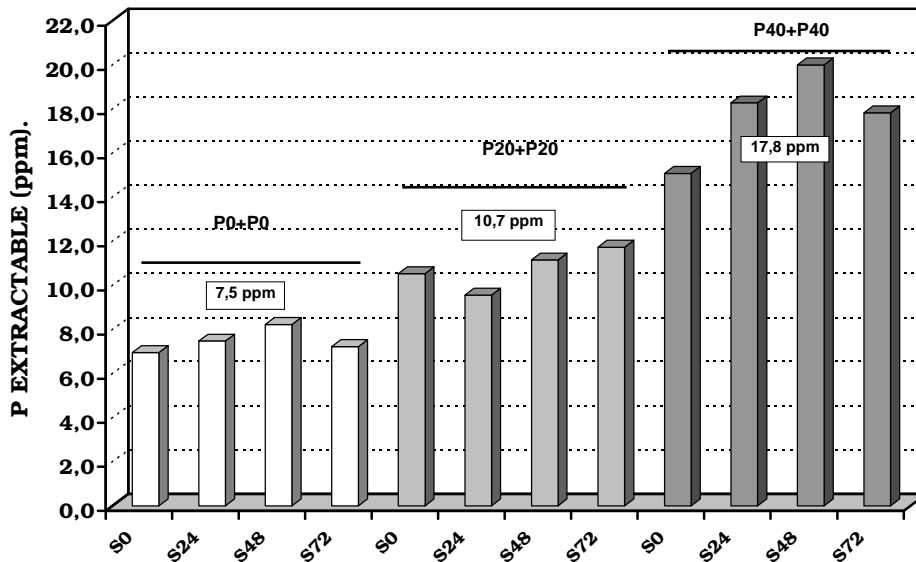


Gráfico 7. Contenido de P extractable (0-20 cm) al finalizar la secuencia trigo/soja-maíz-soja. Unidad Demostrativa Agrícola Bernardo de Irigoyen, 2003-2006.

El efecto del P fue significativo ($P < 0,05$) y lineal, de la forma: $P \text{ extractable (ppm)} = 6,86 + 0,258 P$; $R^2 = 0,71$. En función de la importancia del P extractable y la extracción del mismo por los granos, se calculó un balance utilizando los índices de cosecha descriptos por Echeverría y Sainz Rozas, (2005), Gutiérrez Boem y Scheiner, (2005) y García y Berardo, (2005). El balance para los tratamientos en la secuencia, luego de la doble fertilización, se puede apreciar en el Gráfico 8.

En (P0+P0), la exportación de P con el grano varió entre 58,3 y 72 kg/ha, extraído en su totalidad del suelo (balance negativo). Cuando la fertilización se realizó con la dosis intermedia (P20+P20) la extracción osciló entre 22,9 y 41 kg/ha, con aportes parciales del fertilizante fosfatado y una proporción importante extraída del suelo (balance negativo). En cambio cuando se realizó la fertilización (P40+P40), la totalidad de los tratamientos fueron satisfechos por el fertilizante aplicado, con un balance positivo entre 16,4 y 0,2 kg/ha de P.

Debido a que el tratamiento (P40+P40) satisfizo la extracción de las cosechas (Gráfico 8) y el P extractable residual del suelo superó los 15 ppm (Gráfico 7) se podría definir a los tratamientos como sustentables con referencia al P. En cambio los restantes (P0+P0) y (P20+P20), con extracción del grano superior a los aportes y

con niveles de P extractable residual inferior a 15ppm, se podrían considerar como no deseables.

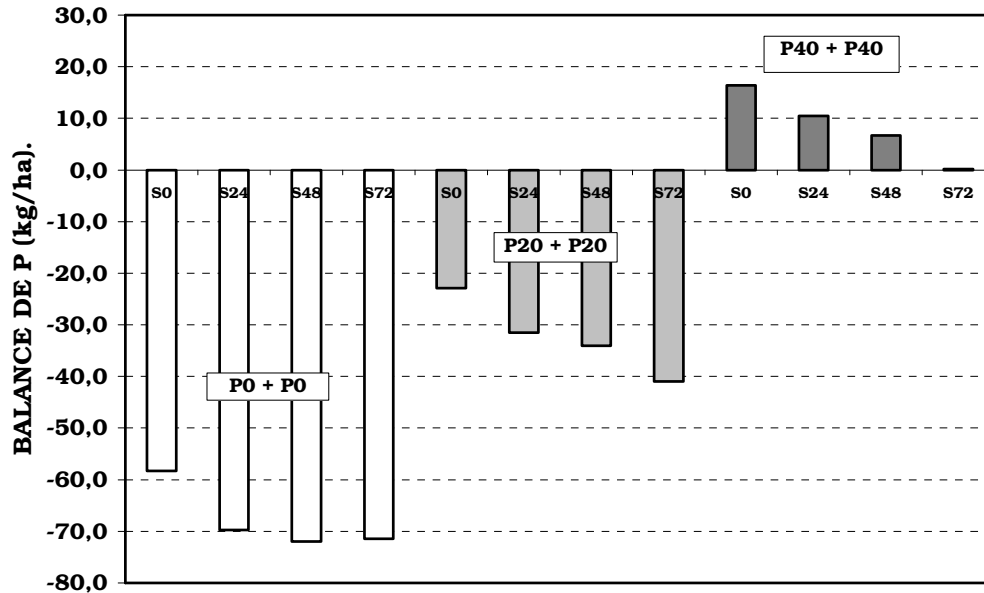


Gráfico 8. Balance de P luego de la cosecha de trigo/soja-maíz-soja, fertilizadas con P y S. Unidad Demostrativa Agrícola Bernardo de Irigoyen, 2003-2006.

El análisis de la materia orgánica y del azufre de sulfatos del suelo, en los tratamientos, no fue significativo ($P > 0,05$). El primero promedió 2,5% y el segundo 5,2 ppm.

Margen Bruto

En el Gráfico 9 se puede ver el margen bruto. Fue notablemente afectado por los rendimientos decrecientes de la soja de segunda 2003-04, donde la producción fue inversamente proporcional a la magnitud de la fertilización PxS (Gráfico 2).

En promedio, el margen bruto para (P0+P0), (P20+P20) y (P40+P40) y sus combinaciones con S fueron de 2185, 2217 y 1993 \$/ha. El beneficio económico de haber utilizado S significó un aumento de 47%, 39% y 36% en las dosis de (P0+P0), (P20+P20) y (P40+P40), respectivamente. En este punto cabe destacar los aumentos debido a la fertilización azufrada, particularmente donde no se efectuó la aplicación de fósforo (P0+P0).

Varios márgenes son factibles de ser utilizados en la combinación de fertilización PxS, pero es fundamental relacionar el beneficio económico (Gráfico 9) con la exportación y balance del P (Gráfico 8) y con la condición del P extractable del suelo al finalizar la secuencia (Gráfico 7). Al respecto se observó que con

(P0+P0)xS, aunque los márgenes fueron destacables, el P extractable se mantuvo en 7,5 ppm y la totalidad del P extraído por el grano de los cultivos fue aportado por el suelo. Aunque con mayores aportes por el fertilizante y niveles de P residual de 10,2 ppm, similar consideración les cabe a los tratamientos (P20+P20)xS.

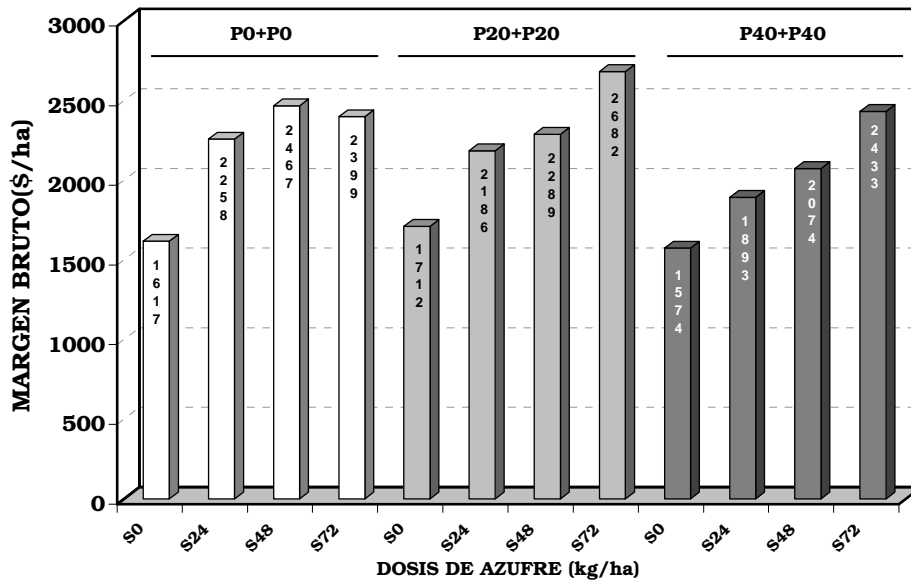


Gráfico 9. Margen bruto para la secuencia trigo/soja-maíz-soja con fertilización de P y S en el trigo y el maíz y sus efectos residuales en la leguminosa. Unidad Demostrativa Agrícola Bernardo de Irigoyen, 2003-2006.

Las combinaciones (P0+P0)xS y (P20+P20)xS fueron rentables pero no serían deseables o sustentables porque no satisfacen el balance de P para un sistema de agricultura continua.

La dosis (P40+P40)xS fue la única que permitió un residuo de P extractable superior a 15 ppm, además de un margen bruto positivo y con el sistema balanceado desde la perspectiva de los aportes de P. Por lo tanto, y desde un punto de vista sustentable, todas las alternativas (P40+P40)xS serían promisorias, principalmente (P40+P40) - (S36+S36).

Consideraciones Generales

- ❖ Con suficiencia de agua, muy baja presencia de enfermedades fúngicas y una adecuada fertilización N-P-S, se pudieron alcanzar óptimos rendimientos de trigo.
- ❖ En general el P y el S tuvieron respuestas directas y residuales en todos los cultivos de la secuencia, con excepción en la soja de segunda después de

trigo y en la soja de 1º en relación con P, por factores hídricos y térmicos durante el período reproductivo.

- ❖ Los resultados demostraron la determinación de las precipitaciones bajo condiciones de secano y en particular durante el doble cultivo trigo-soja.
- ❖ Las dosis de S incrementaron la producción de las cuatro cosechas, aún con ausencia de fertilización fosfatada.
- ❖ Los niveles de P extractable, luego del doble cultivo trigo-soja, demostraron la necesidad de volver a suplir con este nutriente a los próximos cultivos de la secuencia (maíz-soja).
- ❖ Los niveles residuales del P extractable del suelo posterior a la cosecha de maíz no se asociaron con el efecto del mismo factor en los rendimientos de la soja, posiblemente por las deficiencias hídricas y estrés térmico durante el mes de enero.
- ❖ Los rendimientos de la soja de 1º, en cambio, se relacionaron favorablemente con el azufre residual proveniente de la fertilización en el cultivo de maíz.
- ❖ Luego de las cuatro cosechas, el mayor contenido de P residual del suelo correspondió a la dosis (P40+P40).
- ❖ No se encontraron diferencias significativas en el contenido de materia orgánica y en el azufre de sulfatos.
- ❖ La fertilización y refertilización con P40, en conjunto con los niveles de S, fueron los únicos tratamientos que posibilitaron un residuo de P superior a 15 ppm en el suelo, obtuvieron importantes beneficios económicos y proveyeron en forma adecuada los requerimientos nutricionales de la producción, aspecto fundamental para la sustentabilidad de un sistema bajo agricultura continua.
- ❖ La fertilización cada dos cosechas demostró ser una estrategia eficiente desde el punto de vista operativo, técnico y económico.

Referencias

- Albrecht, R. ; H. S. Vivas y H. Fontanetto. 2000. Residualidad del fósforo y del azufre en soja sobre dos secuencias de cultivos. Campaña 1999/2000. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela; Centro Regional Santa Fe. Publicación Miscelánea N° 93, N° 6 : 1-5.
- Barrow, N. 1980. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. p. 333-355. In: Khasawneh, F., E. Sample y E. Kamprath (eds.). The Role of Phosphorus in Agriculture. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI.
- Berardo, A y F. D. Grattone 2000. Fertilización fosfatada requerida para alcanzar niveles objetivos de P-Bray en un argiudol. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 17, Mar del Plata, 11-14 abril de 2000. AACCS. Mar del Plata, Buenos Aires.

- Echeverría, H. y H. Sainz Rozas. 2005. Maíz. p 255-282. En. Echeverría, H. E. y F. O. García (eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. INPOFOS.
- Fontanetto, H. ; H. S. Vivas; R. Albrecht y J. Hotian. 2003. La Fertilización con N, P y S y su residualidad en una secuencia agrícola de la región central de Santa Fe. Efecto sobre el rendimiento de granos. INPOFOS Cono Sur. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Simposio: El Fósforo en la Agricultura: 91-92.
- García, F. O. y A. Berardo. 2005. Trigo. p 233-253. En. Echeverría, H. E. y F. O. García (eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. INPOFOS.
- García, F. O.; H. Fontanetto y H. Vivas. 2001. La fertilización del doble cultivo trigo-soja. Informaciones Agronómicas. INPOFOS. 10: 14-17.
- Gutiérrez Boem, F. y J. D. Scheiner. 2005. Soja. p 283-300. En. Echeverría, H. E. y F. O. García (eds). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. INPOFOS.
- Hanway, J. J. and R. A. Olson. 1980. Phosphate nutrition of corn, sorghum, soybeans, and small grains. p. 681-692. In: Khasawneh, F., E. Sample y E. Kamprath (eds.). The Role of Phosphorus in Agriculture. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI.
- Hoef, R. G.; L. M. Walsh, and D. R. Keeney. 1973. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. Soil Sci. Soc. Am., Proc. 37:401-404.
- Kamprath, E. J. 1967. Residual effect of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. Agron. J. 59:25-27.
- Martínez, F. y G. Cordone. 1998. Resultados de ensayos de fertilización azufrada en soja. Para mejorar la producción. INTA Oliveros.
- Villar, J. 2000. Economía del agua en el cultivo de trigo. Información Técnica de Trigo. Campaña 2000. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 92.
- Vivas, H. S. 1996. Corrección del fósforo edáfico en una rotación agrícola del centro-este de la provincia de Santa Fe. II. Residualidad del fósforo en la producción de soja. Campaña 1995/96. INTA, EEA Rafaela. Información Técnica N° 202. 6 pp. Publicación Miscelánea N° 80.
- Vivas, H. S.; H. Fontanetto; R. Albrecht; M. A. Vega y J. L. Hotian. 2001. Fertilización con P y S en el doble cultivo trigo-soja. Residualidad en soja. Respuesta física y económica. Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2001. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 95. Anuario 2001 de la EEA Rafaela.
- Vivas, H. S. 2003. Fertilizando el Suelo: Residualidad de los fertilizantes en rotaciones de cultivos y pasturas. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. XI Congreso de AAPRESID, "Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa". Bolsa de Comercio de Rosario. 26 al 29 de agosto de 2003.