

Fósforo y azufre aplicados en una secuencia cada dos cultivos

Hugo Vivas, Nicolás Vera Candiotti, Ricardo Albrecht, Luciano Martins, Oscar Quaino y Jose L. Hotián

En la región centro-este de Santa Fe los únicos nutrientes que hasta el presente se destacan por su respuesta y residualidad en la fertilización de una secuencia son el fósforo (P) y el azufre (S). El nitrógeno (N), por el contrario, en general no tiene efectos residuales pero es imprescindible para las gramíneas como trigo y maíz, dosificándose en función de los objetivos de rendimientos.

El P es deficiente en por lo menos la mitad de los lotes de los suelos agrícolas de Santa Fe y comprende no sólo a los primeros 20 cm. superficiales, sino que disminuye en profundidad, lo que permite asumir que esta en relación con el material original.

La mayor parte del P que absorben los cultivos se concentra en el grano y por lo tanto es exportado con las cosechas. Si no se usaran fertilizantes, el suelo se degradaría por la extracción continua de fósforo sin reposición. La evaluación del fósforo disponible (Pe) a través del tiempo es vital para monitorear su manejo. Se pretende mantener el mismo en niveles suficientes, entre 10 y 20 ppm, o superarlos mediante dosis más elevadas de fertilización. Dada las cantidades de fósforo necesarias por los cultivos de una secuencia, se pretende sostener los valores de Pe en alrededor de 15 ppm o superiores.

Otro nutriente con propiedades residuales y destacadas por su respuesta a su aplicación a los cultivos es el azufre. En particular sus deficiencias fueron

observadas en el centro de Santa Fe. En el suelo se encuentra principalmente como compuestos ligados a la materia orgánica, solo una pequeña porción (5 al 10%) se libera como sulfato ($S-SO_4$) inorgánico, que es como la planta lo absorbe. Bajo agricultura continua e intensiva, la cantidad de $S-SO_4$ disminuye en forma significativa por mineralización de la materia orgánica; con el tiempo si no hay reposición, resulta en la consiguiente pérdida de rendimiento en las cosechas. Por ello es importante el aporte de rastros en superficie como un medio de aumentar la materia orgánica del suelo y por ende la cantidad de azufre. El síntoma más notable de una deficiencia de azufre es la clorosis en las hojas superiores debido a la escasa movilidad del nutriente hacia los tejidos jóvenes. Hasta el presente los análisis de suelo y de partes de la planta son muy erráticos, por lo tanto la mejor guía es el aspecto del cultivo y su crecimiento. Las leguminosas y crucíferas son las que más requieren azufre y entre las de menor demanda se encuentran las gramíneas como trigo y maíz. Como en las rotaciones agrícolas están involucradas gramíneas y leguminosas, los requerimientos de fósforo y azufre son muy variados, de aquí la importancia de estudiar fertilizaciones combinadas de los dos nutrientes aprovechando sus propiedades residuales para más de un cultivo. El objeto del presente trabajo consistió en evaluar la influencia del fósforo y del azufre en la producción de una secuencia trigo/soja-maíz-soja y sus efectos residuales para una fertilización cada dos cosechas.

Materiales y métodos

La investigación es parte de un trabajo de larga duración que se lleva a cabo en Bernardo de Irigoyen, departamento San Jerónimo sobre un Argiudol típico. En este trabajo se exponen los resultados de la secuencia trigo/soja-maíz-soja en el periodo 2006-09, adonde los cultivares, las fecha de siembra y cosecha se muestran en la tabla 1. Se mantiene el criterio de una fertilización uniforme de N para el trigo (60 kg de N/ha) y el maíz (100 kg de N/ha) y variables para el fósforo y el azufre. Los tratamientos fueron una combinación de tres niveles de fósforo (0, 20 y 40 kg/ha) y de cuatro niveles de azufre (0, 12, 24 y 36 kg/ha) en un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El fósforo se aplicó como superfosfato triple (20% P), el azufre como yeso (18% S) y el N como urea (46%N). La fertilización con los tres nutrientes se realizó cada dos cosechas al momento de la siembra del trigo (2006) y del maíz (2007/08), la soja no recibió fertilización. El fósforo se incorporó con la sembradora pero la urea y el yeso nitrógeno y el azufre se distribuyeron al voleo. Se tomaron muestras de suelo de la capa superficial para evaluar el contenido de Pe al inicio de la secuencia, y sucesivamente a lo largo de las secuencias de cultivo.

	Trigo 2006	Soja 2006-7	Maíz 2007-8	Soja 2008-9
Cultivares	ACA 601	RA 626	Florentino	RA 424
Siembra	30-jun-06	12-dic-06	03-sep-07	05-dic-08
Cosecha	23-nov-06	11-may-07	03-mar-08	15-abr-09

Tabla 1. Cultivares, fecha de siembra y cosecha de los cultivos. Bernardo de Irigoyen. 2006-2009. producto.

Resultados

En todas las campañas y cultivos se encontraron diferencias entre los tratamientos, pero en ningún caso hubo interacción significativa entre el fósforo y el azufre, lo que demostró el comportamiento independiente de estos nutrientes. El fósforo produjo aumentos significativos en el doble cultivo trigo/soja no así en el maíz ni en la soja. Un comportamiento destacado lo tuvo el azufre, que ante las variadas condiciones ambientales de la secuencia, su efecto siempre fue significativo. Este resultado puede asociarse a que el sulfato es absorbido principalmente con el agua de transpiración, por flujo de masa y puede moverse, como los nitratos (NO_3^-), hacia capas más profundas y desde allí continuar su absorción, por lo que la planta puede seguir absorbiéndolo aun en los primeros centímetros de suelo seco. Los incrementos de rendimiento y el porcentaje de respuesta se pueden apreciar en la tabla 2.

El trigo 2006 partió con buena reserva de agua pero el déficit fue marcado en setiembre donde comenzó la encañazón y la mayor demanda hídrica. Octubre y noviembre permitieron el buen llenado del grano. Hubo incrementos importantes del trigo por efecto del fósforo pero la respuesta relativa del S fue superior. El azufre se comportó en forma independiente y aumentó los rendimientos de trigo aún en las parcelas testigo con $\text{Pe} = 7,5$ ppm. El promedio del ensayo fue de 2424 kg/ha. El tratamiento sin fertilización fue el más bajo con 1817 kg/ha y el mayor correspondió a las dosis más altas combinadas de azufre y fósforo con 2811 kg/ha (+54,7%).

Las precipitaciones en la soja de 2º (2006-07) fueron suficientes y el cultivo no sufrió estrés como suele ocurrir frecuentemente en el doble cultivo. El ensayo tuvo un promedio de 3197 kg/ha, variando de 2684 kg/ha para el testigo sin fertilizantes hasta 3520 kg/ha (+31%) para el tratamiento con las dosis más altas. El azufre tuvo respuesta en todos los niveles de fósforo destacándose, al igual que en trigo, los aumentos logrados aún sin fósforo aplicado,

P Aplicado Kg nutriente/ha)	S Aplicado	Trigo 2006 Kg grano/ha	Soja 2006-7	Maíz 2007-8	Soja 2008-9
0		2204	3103	6552	1819
20		2487	3149	6999	1917
40		2582	3339	6891	1790
	0	2057	2845	5023	1674
	12	2475	3233	6986	1885
	24	2573	3306	7519	1893
	36	2592	3402	7729	1919
pr> FFosforo		0.002	0.003	0.059	0.134
pr> FAzufre		> 0.001	>0.001	>0.001	0.014

Tabla 2. Producción de grano y respuesta al fósforo a al azufre aplicados en el trigo y el maíz. Bernardo de Irigoyen. Departamento San Jerónimo. 2006-2009.

pero la magnitud de respuesta de la soja fue mayor con azufre que con fósforo.

Al sembrarse el maíz (2007-08) se realizó la re fertilización. La gran limitante para el cultivo se produjo en noviembre con plena floración, recibiendo solo 11 mm de precipitación. De este modo el promedio solo alcanzó 6814 kg/ha. El efecto de la aplicación de fósforo no fue significativo pero si al azufre, que nuevamente manifestó su independencia al lograr aumentos importantes en todos los niveles de fosforo, particularmente en sin su aplicación. Los aumentos relativos del azufre superaron al del fosforo. El menor rendimiento fue de 4545 kg/ha sin fertilizante y el máximo de 8106 kg/ha para la combinación P20S24. Dado que el azufre es un constituyente de las proteínas el mismo podría tener un efecto significativo en la absorción de N y la producción de grano. La absorción de N podría incrementarse hasta en un 20% mediante la provisión de adecuados niveles de azufre. En este

ensayo el estrés hídrico fue muy importante condicionando la producción y la interpretación de las respuestas.

Para la soja (2008-09) el único nutriente que tuvo respuesta favorable fue el azufre. Las condiciones hídricas fueron desfavorables en noviembre, diciembre y enero recibiendo en ese período solo 63 mm. El promedio del ensayo fue de 1842 kg/ha. El menor rendimiento fue de 1610 kg/ha para el tratamiento P20S0 y el mayor de 2122 kg/ha para la combinación P20S36. Con buenas condiciones de humedad tanto el fosforo como el azufre pueden ser absorbidos normalmente. En cambio con deficiencias hídricas, sobre todo en la capa superficial del suelo, podría restringirse el proceso de difusión para la absorción de un nutriente poco móvil como el fosforo y de ese modo reducir el crecimiento de la planta, su área foliar, vainas y los rendimientos. Por el contrario el azufre al ser un nutriente más móvil podría haberse absorbido a mayor profundidad

y explicaría la respuesta positiva encontrada para todos los cultivos de la rotación estudiada. Los resultados ratifican nuevamente la relación aditiva o independiente que tienen el fósforo y el azufre en la expresión de los rendimientos de la soja.

El análisis del fósforo disponible en los primeros 20 cm del suelo por efecto de la doble fertilización con los tres niveles de superfosfato aplicados en la rotación se muestra en la Figura 1. Los datos del punto de partida, 2006, corresponden al fósforo disponible residual de la secuencia anterior. La información de la Figura 1 indica que la fertilización con fósforo a través de todos los niveles de azufre permitió mantener el suelo superficial con valores de fósforo disponible superior a 15 ppm cuando la doble fertilización ocurrió con P40. La fertilización con P20 no alcanzó los valores deseables y el testigo sin fósforo permaneció con una tendencia decreciente sobre todo si consideramos que el estudio iniciado en el año 2000 poseía 11 ppm. Los resultados indican claramente que la fertilización con fósforo, azufre y nitrógeno son imprescindibles para optimizar los rendimientos y las aplicaciones sucesivas de fósforo permiten evitar la degradación de un nutriente limitado y sustentar al recurso natural.

Los resultados demostraron independencia o efecto aditivo del fósforo y el azufre en sus efectos sobre la producción de granos. Cuando las condiciones hídricas fueron favorables (trigo/soja) el fósforo manifestó efectos positivos mientras que cuando el déficit fue importante (maíz y soja de 1º) la respuesta no fue significativa. Se interpreta que el estrés hídrico podría restringir el proceso de difusión para la absorción superficial de un nutriente poco móvil como el fósforo. De ese modo no incorporación el fósforo podría reducir el crecimiento de la planta, su área foliar y los rendimientos de soja. Por el contrario el azufre tuvo efectos positivos en todos los cultivos a través de las variadas condiciones ambientales, que por ser un nutriente más

móvil podría haberse absorbido a mayor profundidad y explicaría la respuesta positiva en toda la rotación. La doble fertilización permitió que el nivel de Pe para la dosis de 40 kg de P/ha de fósforo superara ampliamente a los 15 ppm de referencia.

Figura 1. Variación del P disponible (Pe) por efecto de la doble fertilización con fósforo. 2006= inicio de la etapa; 2007= luego del doble cultivo trigo/soja; 2008= luego del maíz y 2009= posterior a la cosecha de la soja.

Conclusión

En ningún cultivo se encontró interacción significativa entre el fósforo y el azufre indicando la independencia de ambos factores. Mientras hubo buenas condiciones hídricas el P tuvo efectos significativos sobre los rendimientos pero careció de importancia ante condiciones de estrés hídrico como el ocurrido con el maíz y la soja de 1º. Por el contrario el azufre tuvo un comportamiento más estable, a través de las variadas condiciones ambientales, y su respuesta fue significativa en todos los cultivos. Las respuestas tanto en magnitud como en porcentajes siempre fueron superiores con azufre que con fósforo. Los resultados indicaron claramente que la doble fertilización con fósforo y azufre son imprescindibles para optimizar los rendimientos de la rotación y las aplicaciones sucesivas de 40 kg de P/ha permitieron evitar la degradación de un nutriente limitado y sustentar al recurso natural.