

RESPUESTA DEL TRIGO A LA FERTILIZACION CON FOSFORO Y AZUFRE EN UN SUELO DE TEXTURA ARENOSA¹

Wheat response to P and K fertilization on a sandy soil

Nicasio Rodríguez S.², Jorge Chavarría R.², Ciro Belmar N.² y Carmen Lobos S.²

SUMMARY

The effect of three phosphorus sources: diammonium phosphate (DAP 20.5% P), triple superphosphate (TSP 20.5% P and 1.0% S) and simple superphosphate (SSP 10.9% P and 11.0% S) on wheat production on an irrigated sandy soil, were studied. Three phosphorus rates were applied: 17.5, 35.0 and 52.5 kg ha⁻¹. The sulphur content in the soil was 0.7 mg kg⁻¹ which implies a nutritional deficiency for high-yield wheat crops. When SSP was used rates of: 0, 17.6, 35.2 and 52.8 kg ha⁻¹ of S were applied to the soil.

The grain yield response to phosphorus applied was lower with DAP and medium with TSP and higher with SSP, with a maximum of 25.8 and 33.0 qm ha⁻¹, respectively. When SSP were used a significant yield increase was observed with the applied rates of 52.5 kg ha⁻¹ of P and 52.8 kg ha⁻¹ of S with a yield of 55.5 qm ha⁻¹. The grain yield increase is attributed to the effect of the sulphur applied. The soil extractable sulphur in the soil test was 0.7 mg kg⁻¹ S, with a high possibility of sulphur deficiency.

A linear regression between grain yield and applied sulphur were obtained as follows: $Y = 24.635 + 0.467037 S$ and $R^2 = 0.706$ ($P \leq 0.01$). Also, a linear regression were obtained between grain yield and sulphur concentration in the leaves; sulphur applied to the soil and sulphur concentration in the wheat leaves.

Key words: wheat, fertilizer, phosphorus, sulphur, irrigated sandy soil.

INTRODUCCION

En Chile, la deficiencia de azufre en trigo es poco común y generalmente no existe respuesta a los productos fertilizantes que contienen este elemento.

Por la gran cantidad de factores de suelo y clima que influyen en la disponibilidad de azufre, es difícil predecir la necesidad de fertilización con este nutriente (Rasmussen y Allmaras, 1986). Por otra parte, los métodos analíticos propuestos no son suficientemente precisos como para poder predecir con exactitud la deficiencia y las cantidades que se deben aplicar (Beaton, Burns y Platon, 1968), por esta razón, el azufre es aplicado en forma rutinaria cuando el suelo es deficiente.

El uso eficiente del azufre fertilizante requiere una mejor definición de los factores que controlan su respuesta y del mejoramiento de los métodos analíticos de suelo y plantas (Rasmussen y Allmaras, 1986).

La cantidad de azufre requerida por el trigo es baja y depende del rendimiento, pero es de aproximadamente 20 a 30 kg ha⁻¹ de S (Gardner y otros, 1975 y Hunter y otros, 1961).

La respuesta a la aplicación de azufre en trigo es limitada en suelos de la región centro-sur y la mayor frecuencia de deficiencia se encuentra en suelos de textura arenosa y de bajo contenido de materia orgánica; no obstante, en condiciones naturales, estos suelos entregan el azufre necesario cuando el rendimiento es bajo. Con el aumento de la producción las necesidades de azufre son mayores, las cuales el suelo no es capaz de suplir, creándose, de esta manera, una deficiencia que limita la expresión del rendimiento potencial. En Oregon, según Rasmussen y Allmaras (1986), en 1930 se necesitaban 15 kg ha⁻¹ de S, este valor aumentó a 80 kg ha⁻¹ de S en 1980, lo cual se atribuye al incremento en el rendimiento de la variedades usadas y al mejoramiento de las prácticas culturales.

El objetivo de este trabajo consistió en evaluar durante una temporada, la respuesta del trigo con tres fuentes de fósforo comerciales: fosfato diatómico, superfosfato triple y superfosfato normal, en

¹Recepción de originales: 1 de diciembre de 1991.

²Estación Experimental Quilimapu (INIA), Casilla 426, Chillán, Chile.

cuatro dosis de aplicación, y la modificación de esta respuesta cuando se aplicó, además, azufre en cantidades crecientes, en un suelo arenoso, deficiente en este elemento nutritivo.

MATERIALES Y METODOS

El experimento fue establecido en el fundo Línea de Peñuelas, a 6 km al oeste de la Ciudad de Cabrero, provincia de Biobío, VIII Región, durante la temporada 1986/87. El suelo corresponde a la Serie Arenales (Entisol), es de topografía plana y de textura arenosa en profundidad.

En el Cuadro 1, se presentan las características químicas del suelo al establecer el ensayo. El nitrógeno, fósforo y azufre corresponden a un nivel bajo, lo cual indica una probable respuesta a la aplicación de estos nutrientes, y la disponibilidad de potasio es suficiente.

CUADRO 1. Análisis químico del suelo al inicio del ensayo. Cabrero, 1986/87

TABLE 1. Soil chemical analysis. Cabrero, 1986/87

Nitrógeno disponible, mg/kg	7,0
Azufre disponible, mg/kg	0,7
Fósforo disponible Olsen, mg/kg	7,0
Potasio disponible, mg/kg	148,0
Materia orgánica, %	2,3
pH	6,7

Se compararon tres fertilizantes fosfatados: fosfato diamónico (FDA; 20,5% de P), superfosfato triple (SFT; 20,5% de P y 1% de S) y superfosfato normal (SFN; 10,9% de P y 11% de S), en cuatro dosis de aplicación 0,0; 17,5; 35,0 y 52,5 kg ha⁻¹ de P, y de acuerdo a la distribución que aparece en Cuadro 2. El diseño experimental correspondió a parcelas divididas con tres repeticiones, en un arreglo factorial de tres fuentes y cuatro dosis de fósforo. En los tratamientos, en los cuales correspondió aplicar superfosfato normal, se comparó la respuesta del trigo a 0; 17,6; 35,2 y 52,8 kg ha⁻¹ de S, a iguales dosis de fósforo.

El nitrógeno se aplicó en todos los tratamientos en una dosis de 120 kg ha⁻¹ de N, en forma de urea (45% de N), mitad en la siembra y mitad en la macolla.

CUADRO 2. Azufre, fósforo y nitrógeno aplicado en cada uno de los tratamientos

TABLE 2. Sulphur, phosphorus and nitrogen applied in each of the treatments

Tratamiento	Elemento aplicado, kg ha ⁻¹		
	P	S	N
1 Testigo	0,0	0,0	120
2 FDA	17,5	0,0	120
3 SFT	17,5	0,9	120
4 SFN	17,5	17,6	120
5 FDA	35,0	0,0	120
6 SFT	35,0	1,7	120
7 SFN	35,0	35,2	120
8 FDA	52,5	0,0	120
9 SFT	52,5	2,6	120
10 SFN	52,5	52,8	120

Se utilizó la variedad de trigo primaveral Nobo-INIA, de alto potencial de rendimiento, en dosis de semilla de 160 kg ha⁻¹. Las malezas fueron controladas con herbicidas en las épocas oportunas, usando los productos y las dosis recomendadas. El rendimiento de grano se determinó en una superficie de 6,0 m². Además, se midió el peso del hectolitro, peso de los 1.000 granos y la relación grano-paja de plantas completas.

Al estado de hoja bandera se realizó un muestreo de hojas en todos los tratamientos, con el objeto de determinar la concentración de azufre foliar (Opazo, 1982).

El riego se realizó subsuperficialmente en primavera, en canales paralelos separados a una distancia de cien metros. Por la baja retención de humedad del suelo y la alta evapotranspiración fueron necesarios riegos frecuentes durante el período de crecimiento y desarrollo del trigo.

El procesamiento de los resultados se realizó por análisis de variancia y regresión, utilizando la Prueba de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

Comportamiento de la fuente de fósforo

Se estableció un comportamiento estadísticamente diferente entre las fuentes de fósforo empleadas en el ensayo ($P \leq 0,01$).

El menor rendimiento correspondió al fosfato diamónico y el mayor al superfosfato normal; el superfosfato triple manifestó un efecto intermedio (Cuadro 3).

CUADRO 3. Rendimiento de grano de trigo (qqm ha⁻¹), con tres fuentes de fósforo y cuatro dosis de aplicación

TABLE 3. Wheat grain yield (qqm ha⁻¹) with three phosphorus sources and four application rates

Fuente de fósforo	Dosis de fósforo, kg ha ⁻¹				Promedio
	0	17,5	35,0	52,5	
Fosfato diamónico	18,8	23,2	25,8	20,6	22,1 a
Superfosfato triple	18,8	27,4	33,0	32,2	27,9 ab
Superfosfato normal	18,8	29,6	32,5	55,5	34,1 bc
Promedio	18,8	26,7	30,4	35,9	

C.V.: 8,7; D.M.S.: 7,2.

Existieron diferencias significativas entre el promedio de dosis de fósforo para FDA y SFN, con un valor de 12,1 qqm ha⁻¹. Este diferente comportamiento entre los fertilizantes FDA y SFN puede estar asociado a la forma de reacción con la fracción mineral del suelo y al aporte de Ca y S que se aplicó con el SFN.

También se manifestó, en el promedio de las fuentes de fósforo, diferencias significativas en el rendimiento entre dosis de fósforo, lo cual se explicaría por el bajo valor de fósforo disponible Olsen. La baja capacidad de retención de fósforo y la textura arenosa de estos suelos, hacen posible el movimiento del fósforo a capas más profundas en el perfil del suelo. El rendimiento, en el tratamiento sin P, fue de 18,8 qqm ha⁻¹, valor similar al obtenido por los productores de trigo en el área cuando no se aplica fósforo. El incremento de rendimiento entre 0 y 52,5 kg ha⁻¹ de P, en promedio de fuentes de fósforo, fue de 17,1 qqm ha⁻¹, determinándose de esta manera una eficiencia de 32,6 kg de grano por kg de fósforo aplicado. La interacción positiva ($P \leq 0,05$), indica que los factores fuente y dosis de P, no se comportaron en forma independiente en este experimento, siendo difícil la exacta explicación agronómica.

Efecto de la deficiencia de azufre en el suelo

En los suelos de textura arenosa la principal fuente de azufre es la fracción orgánica. También existe

una alta correlación entre el azufre orgánico y la materia orgánica que, en estos suelos, es baja. Se indica que la relación adecuada C:S fluctúa entre 100: 0,55 y 100: 0,90 (Oates y Kamprath, 1985). El mecanismo que induce deficiencia de azufre en estos suelos corresponde a la oxidación del azufre orgánico a S-SO₄, que puede ser utilizado por las plantas, pero, que a su vez, es lixiviado, impidiendo la acumulación en el suelo y también dejándolo fuera de la zona de las raíces. Los suelos arenosos tienen baja capacidad de retención de S-SO₄, debido a su textura y a la baja cantidad de óxidos hidratados de Fe y Al presentes.

La excesiva pluviometría durante el invierno, en el área de estudio, lixivia el azufre acumulado durante el verano por descomposición de la materia orgánica, por lo tanto, la disponibilidad de S en el suelo, durante la primavera, es una cantidad insuficiente para las necesidades de una alta producción (Jones, Martin y Williams, 1968). El contenido de azufre en el sitio del ensayo fue de 0,7 mg kg⁻¹ al momento de establecer el experimento, y por otra parte, la adición de fósforo al suelo originó una competencia con azufre, disminuyendo de esta manera la capacidad de retención de S-SO₄.

De acuerdo a Oates y Kamprath (1985), se ha establecido una fuerte respuesta a la aplicación de azufre en suelos de textura arenosa del sureste de Estados Unidos, al mismo tiempo que plantas sin fertilizar exhiben clara deficiencia de este elemento.

En el ensayo, las plantas de trigo, desde el estado de macolla hasta grano lechoso, presentaron síntomas visuales de amarillez en las hojas. Esta sintomatología se presentaba en las dosis bajas de fósforo para todas las fuentes y en las altas, disminuyó con superfosfato triple y desapareció con superfosfato normal.

De acuerdo a la evolución de la sintomatología visual y a los resultados de análisis de suelo y foliar, fue posible determinar que la sintomatología correspondía a una deficiencia interna de azufre.

Debido a la existencia de interacción positiva entre fuentes y dosis de fósforo, se establecieron relaciones lineales para cada una de las fuentes (Figura 1). Se aprecia que las diferencias de rendimiento de grano entre las fuentes aumentaron con la dosis de fósforo desde 0 a 52,5 kg ha⁻¹ de P. Para establecer diferencias entre fuentes a igual dosis de fósforo, se realizó la comparación de significancia entre medias. Se estableció un valor de diferencia mínima significativa (D.M.S.) de 11,7 qqm ha⁻¹, encontrándose que con la dosis de 52,5 kg ha⁻¹ de P el rendimiento con SFN (55,5 qqm ha⁻¹) y SFT

(32,2 qqm ha⁻¹) eran estadísticamente diferentes, lo que se explica por el efecto de S contenido en el SFN, el cual, en este caso, correspondió a un aporte de 52,8 kg ha⁻¹ de azufre.

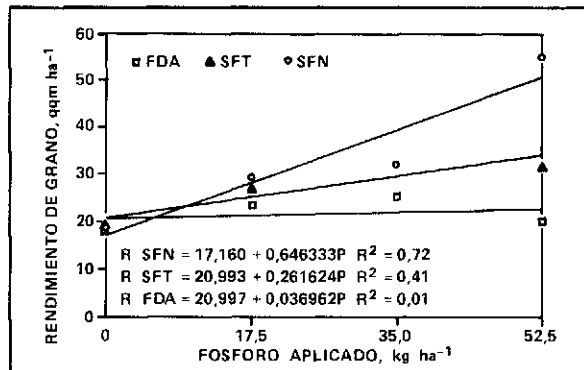


FIGURA 1. Respuesta de rendimiento al fósforo aplicado.

FIGURE 1. Wheat yield response to the applied phosphorus.

Respuesta al azufre

En la Figura 2, se relaciona el azufre aplicado, entre 0 y 52,8 kg ha⁻¹ de S, con el rendimiento de grano de trigo. La asociación de ambos valores es lineal, con un valor R² = 0,706 y un incremento de rendimiento de 84,3 kg de trigo por cada kg de S aplicado. El rendimiento máximo de grano fue de 55,5 qqm ha⁻¹, y se obtuvo cuando se corrigió la deficiencia de fósforo y azufre, en este caso, correspondió a las dosis mayores de estos nutrientes.

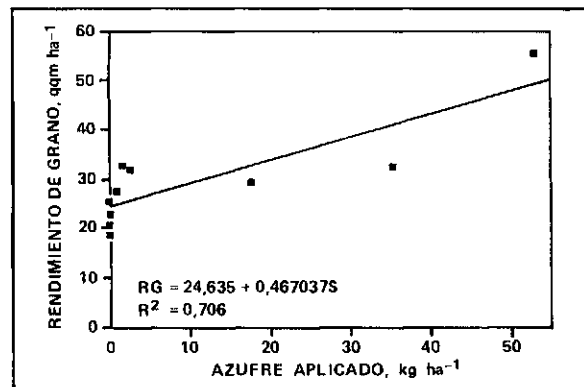


FIGURA 2. Relación entre rendimiento de grano y el azufre aplicado.

FIGURE 2. Relation between grain yield and applied sulphur.

Relación entre azufre aplicado y azufre foliar

El azufre aplicado al suelo, 0 a 52,8 kg ha⁻¹ de S influyó directamente en la cantidad de azufre absorbido por las plantas de trigo, medido por análisis foliar. La variación se estableció en un rango entre 0,07 y 0,29% (Figura 3), con la dosis de 52,8 kg ha⁻¹ de azufre. Existió alta relación entre el azufre aplicado al suelo y el determinado en las hojas de plantas de trigo, R² = 0,77, lo cual indica que el suelo no es capaz de entregar la cantidad necesaria de azufre para una equilibrada nutrición de las plantas de trigo.

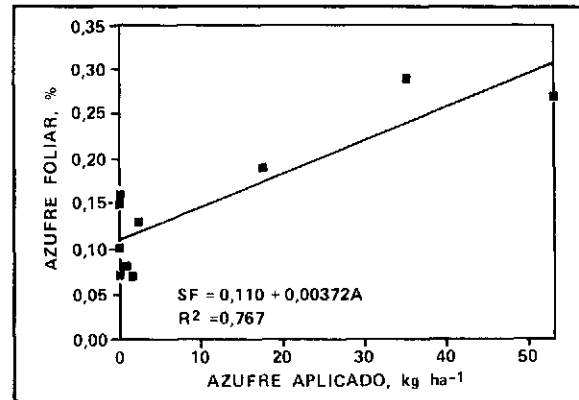


FIGURA 3. Relación entre azufre aplicado y foliar.

FIGURE 3. Relation between applied and foliar sulphur.

Relación entre espigas por m² y granos por espiga

No existió una relación entre espigas por m² y granos por espiga. La variación en rendimiento de grano se produce debido al incremento de las dosis de fósforo y de azufre aplicado como fertilizante.

En el caso del fosfato diamónico hay una disminución en el número de espigas por metro cuadrado a medida que aumenta la dosis de fósforo, lo cual podría deberse a posible efecto de sobrevivencia de plántulas con este fertilizante. Esta disminución de las espigas, por superficie, se ve, en parte, compensada por el número de granos por espiga, a pesar de lo cual el rendimiento de grano disminuye.

En el tratamiento con superfosfato normal aumentaron las espigas por metro cuadrado con la dosis de fósforo y azufre, aumentando también el número de granos por espiga en el tratamiento máximo (52,5 kg de P y 52,8 kg de S por ha), lo cual coincide también con el rendimiento máximo de los tratamientos. El peso de los mil granos no tuvo variaciones importantes que puedan asociarse con los tratamientos.

RESUMEN

En un suelo arenoso de riego de la zona de Cabrero, en la Provincia de Biobío, VIII Región, y durante la temporada 1986/87, se estudió el efecto de tres fuentes de fósforo sobre el rendimiento de grano de trigo: fosfato diamónico (20,5% P), superfosfato triple (20,5% P y 1% S) y superfosfato normal (10,9% P y 11,0 de S). Se incluyeron tres dosis de aplicación: 17,5; 35,0; 52,5 kg ha⁻¹ de P. El contenido de azufre disponible en el suelo del ensayo fue de 0,7 mg kg⁻¹, lo cual indica insuficiencia para la buena nutrición de siembras de trigo de alto rendimiento. Con el superfosfato normal se agregaron: 0; 17,6; 35,2 y 52,8 kg ha⁻¹ de S. La menor respuesta a dosis de fósforo se produjo con fosfato diamónico, con un rendimiento máximo de 25,8 qqm ha⁻¹.

La respuesta de rendimiento de grano al fósforo aplicado fue bajo con fosfato diamónico, medio con superfosfato triple y alto con superfosfato normal, con un rendimiento mínimo de 25,8 y 33,0 qqm ha⁻¹, respectivamente. Cuando se usó superfosfato normal se observó un aumento significativo del rendimiento de grano con una aplicación de 52,5 kg ha⁻¹ de fósforo y 52,8 kg ha⁻¹ de azufre, lo

que produjo 55,5 qqm ha⁻¹. El incremento en el rendimiento de grano es atribuido al efecto del azufre aplicado. El azufre extractable del suelo tuvo un valor de 0,7 mg ha⁻¹ de S. Fue ajustada una relación lineal entre rendimiento de grano y azufre aplicado de la forma $Y = 24,635 + 0,467037 S$ con un $R^2 = 0,706$ ($P \leq 0,01$). También fue obtenida una regresión lineal entre tratamiento de grano y concentración de azufre foliar; azufre aplicado al suelo y concentración de azufre en las hojas de trigo.

Cuando se fertilizó con superfosfato normal, el rendimiento máximo fue de 55,5 qqm ha⁻¹, debido fundamentalmente a la aplicación de 52,8 kg ha⁻¹ de S. La relación entre el rendimiento de grano (Y) y el azufre aplicado (X), está explicada por la regresión lineal $Y = 24,635 + 0,467037 X$ ($R^2 = 0,706$).

También se establecieron las relaciones entre azufre aplicado, entre azufre foliar y rendimiento de grano.

Palabras claves: trigo, fertilización, fósforo, azufre, suelo de textura arenosa.

LITERATURA CITADA

- BEATON, J.D., BURNS, G.R. and PLATON, J. 1968. Determination of sulphur in soils and plant material. The Sulfur Institute Tech. Bull. 14. 9 p.
- GARDNER, E.H., THOMPSON, T.W., KERR, H. HESKETH, J., HAGEISTEIN, E., SIMMERMAN, M. and COOK, G. 1975. The nitrogen and sulphur fertilization of dryland wheat in Oregon's Columbia Plateau. In Proc. 26th. Annu. Fert. Conf. of the Northwest, Salt Lake City, U.T. p.: 99-104.
- HUNTER, A.S., ALBAN, L.A., GERARD, C.J. HALL, W.E., CUSHMAN, H.E., and PETERSEN, R.G. 1961. Fertilizer needs of wheat in the Columbia Basin dryland area of Oregon. Agricultural Experiment Station, Oregon State University, Corvallis. Technical Bulletin 57. 60 p.
- JONES, M.B., MARTIN, W.E. and WILLIAMS, W.A. 1968. Behavior of sulphat sulphur and elemental sulphur in three California soils in lysimeters. Soil Sci. Soc. Ann. Proc. 32: 535-540.
- OATES, K.M., and KAMPRATH, E.J. 1985. Sulphur fertilization of winter wheat grown on deep sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 925-927.
- OPAZO, JOSE D. 1982. Disponibilidad de azufre en suelos de la región de Los Lagos. Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. p.; 38-58. (Tesis para optar al título de M.Sc., mimeografiada).
- RASMUSSEN P.E. and ALLMARAS, R.R. 1986. Sulphur fertilization effects on winter wheat yield and extractable sulfur in semiarid soil. Agron. J. 78: 421-425.