

CRECIMIENTO DE LA PLANTA Y CALIDAD DE LA SEMILLA DE SOJA EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN AZUFRADA

FERNANDEZ, E.M.¹; GIAYETTO, O.¹; BUFFA, J.F.²; CERIONI, G.A.¹; MORLA, F.D.¹; ROSSO, M.B.¹; ¹Docentes investigadores Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto (Córdoba, Argentina); ²Profesional actividad privada; efernandez@ayv.unrc.edu.ar

En Argentina se ha incrementado la superficie sembrada con soja (*Glycine max* L.) Merr. (20 millones de has) expandiéndose a áreas ocupadas con otros cultivos (BCR, 2015). Este proceso de intensificación de la agricultura (mayores rendimientos y menos superficie destinada a pasturas), afectó gradualmente la productividad de los suelos por la alta demanda de nutrientes que condujo a reducciones en su disponibilidad en la solución del suelo. En estos últimos años, se observa un incremento del uso de fertilizantes azufrados (sulfato de calcio o sulfato de amonio) en el cultivo de soja (SALVAGIOTTI et al., 2012).

En Argentina, algunos trabajos muestran incrementos del rendimiento de soja en respuesta a la fertilización con S, aunque no siempre con diferencias estadísticas; generalmente, se han encontrado respuestas en ambientes pobres, con suelos arenosos de bajo contenido de MO y/o una larga historia agrícola (GARCÍA, 1999).

Por otra parte, la gran superficie de tierras cultivadas que ocupa este cultivo, incluye ambientes que ofrecen condiciones subóptimas que requieren utilizar semillas de alta calidad fisiológica. A su vez, la germinación y el vigor de un lote de semillas pueden ser modificados por las condiciones ambientales durante el crecimiento y desarrollo de la planta madre, entre ellas la nutrición mineral.

Algunos nutrientes, como N y S tienen una relación directa con estos procesos (MENGEL & KIRKBY, 2000). Ambos son removilizados hacia las semillas al finalizar el ciclo del cultivo, por lo que ante deficiencias podrían afectar el almacenamiento de proteínas (WILCOX & SHIBLES, 2001), lo afectaría negativamente la germinación (MARCOS F^o, 2005). Sin embargo, se ha constatado que las plantas expuestas a condiciones de deficiencia nutricional pueden presentar mecanismos de compensación frente a adversidades ambientales, a través de los cuales se reduce la cantidad pero no la calidad de las semillas (MARCOS F^o, 2005).

En ese contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización azufrada en un sistema de agricultura continua en la región de Corral de Bustos (Córdoba, Argentina) sobre el crecimiento de la planta y la calidad fisiológica de la semilla.

El estudio se realizó a 28 km SO de Corral de Bustos (Dpto. Marcos Juárez, Córdoba), (33° 11'62" 31', 117 msnm) en un suelo Hapludol típico. El diseño experimental fue de bloques al azar completamente aleatorizados con cinco (5) repeticiones. Los tratamientos combinaron tipo de fertilizante azufrado (Sulfato de Calcio, 18% S y 23% Ca y Sulfato de Amonio, 23% S y 21% N) y dosis de S (10 kg de S ha⁻¹; 20 kg de S ha⁻¹ -extracción del cultivo para un rendimiento de 4000 kg ha⁻¹-) quedando configurados como: **T1**: 55,5 kg de Sulfato de Calcio; **T2**: 111 kg de Sulfato de Calcio; **T3**: 43,5 kg de Sulfato de Amonio; **T4**: 87 kg de Sulfato de Amonio y **T5**: Testigo sin fertilización. Las parcelas experimentales tuvieron una superficie de 11.250 m² (25 m x 450 m). El análisis de suelo previo a la siembra presentó: 2,39% materia orgánica; 6,43 pH; 0,250 dS m⁻¹ conductividad eléctrica; 13,9 ppm N-NO₃⁻; 6,9 ppm P; 10 ppm S-SO₄⁼. El cultivar usado fue Don Mario 3700 (PG: 90%), sembrado el

03/11/05, con una densidad de 360.000 semillas ha^{-1} . Se aplicaron los controles sanitarios necesarios para reducir la interferencia de malezas, plagas y enfermedades.

Se registraron las precipitaciones previas y durante el ciclo del cultivo que luego se relacionaron con la fenología del cultivo. A inicio de floración (R1) se analizó el contenido de S y N en hojas (MALAVOLTA et al., 1989). A los 86 días después de la siembra (DDS) en las parcelas fertilizadas el cultivo se encontraba en R5 y el testigo en R5.5. En esa fecha, se evaluó el peso de la materia seca (PS) de los órganos aéreos de las plantas, se determinó el número y el peso seco ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta peso constante) de los nódulos. Luego de la cosecha, cuando las semillas alcanzaron la humedad de equilibrio, se evaluó la calidad fisiológica de las semillas mediante el test patrón de germinación (TPG) (ISTA, 2008) y el vigor con el test de envejecimiento acelerado (EA) y de frío (TF) (KRZYZANOWSKI et al., 1999). Los datos fueron sometidos a ANAVA y las medias comparadas con test de Duncan ($P < 0,05$) (INFOSTAT, 2014).

El total de lluvias durante el barbecho (julio – noviembre) fue de 200 mm y durante el ciclo de 365 mm, siendo menor al valor promedio del periodo (720 mm). La fertilización tuvo efecto diferencias según fertilizante aplicado, la dosis y la expresión del contenido de N y S (Tabla 1). El contenido de N por superficie no fue modificado pero si cuando se evaluó el contenido en la biomasa; el aporte de N con el fertilizante (Sulfato de amonio) contribuyó a la acumulación de este nutriente en las hojas (g kg^{-1} de biomasa), de la misma forma que la mayor dosis de S (20 kg ha^{-1}), posiblemente por su efecto en la asimilación de N_2 (HAVLIN et al., 1999). Mientras que el contenido de S por superficie fue mayor con la fertilización con Sulfato de Calcio y especialmente con la dosis de 20 kg S ha^{-1} , mientras que el contenido en la biomasa tuvo un comportamiento semejante. A pesar de las diferencias estadísticas estos valores fueron superiores a los mencionados por PRASAD & POWER (1997) como deficientes (1.4 g kg^{-1}) y todos superaron los valores mínimos de suficiencia ($2.2 - 2.8\text{ g kg}^{-1}$) planteados por estos autores. Por otra parte, se ha propuesto un índice nutricional de S con la relación N:S en las hojas de 40:1 para las leguminosas (DIJKSHOORN & WIJK, 1967), pero en esta experiencia no se alcanzaron estos valores en el testigo ni en la fertilización.

El N agregado (como Sulfato de amonio) redujo el número de nódulos, siendo más marcado el efecto con el aumento de la dosis (Tabla 2). Esto, puso de manifiesto el efecto depresor del N sobre la nodulación y el efecto complementario de las fuentes de N (Tabla 1) para la planta (SALVAGIOTTI et al., 2008). Por otra parte, el Sulfato de Ca y la mayor dosis incrementaron el peso de los nódulos, demostrando la importancia de la fuente y dosis de S sobre la nodulación y, consecuentemente, en la fijación biológica de N.

El PS de las hojas (Tabla 2) fue mayor (12%) en las parcelas fertilizadas con Sulfato de Ca, pudiendo adjudicarse este efecto al Ca aportado por esta fuente a las funciones metabólicas de este nutriente en la planta (MENGEL & KIRKBY, 2000), como así también al S sobre la síntesis de clorofila (HAVLIN et al., 1999). El PS de las ramas, tallos y total (datos no mostrados) no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos. En cambio, hubo efecto de la dosis de S sobre el PS de los frutos (20 kg S ha^{-1} : 88 g m^{-2} ; 10 kg S ha^{-1} : $69,4\text{ g m}^{-2}$ en promedio), independientemente de la fuente. Estos resultados coinciden con FERRARIS & COURETOT (2005), quienes hallaron que el S mejoró la eficiencia de conversión.

La germinación de las semillas no fue modificada por la fertilización azufrada (Cuadro 3); todos los tratamientos superaron el valor mínimo (80 %) establecido por la SAGPyA (2006) para su comercialización. La energía germinativa mostró una tendencia a aumentar (2% con respecto al testigo) con la dosis de $20\text{ kg de S ha}^{-1}$

como Sulfato de Ca). No se detectaron diferencias en el vigor (EA y TF), aunque las plántulas vigorosas fueron estadísticamente diferentes con el agregado de 20 kg de S ha⁻¹ como Sulfato de Ca en comparación con 10 kg de S ha⁻¹ como Sulfato de Amonio y el testigo. Los nutrientes fueron suficientes para el crecimiento de las plántulas pues desarrollaron un alto porcentaje de plántulas normales, como se puede observar en la Tabla 1 y coincidiendo con lo planteado por PRASAD & POWER (1997) con respecto a los valores de suficiencia de S (2,2 – 2,8 g kg⁻¹), pues deficiencias de S pueden reducir las proteínas almacenadas en las semillas (WILCOX & SHIBLES, 2001) que afectarían la síntesis de nuevas proteínas y aminoácidos, y la provisión de energía durante la germinación (MARCOS- FILHO, 2005). Estas alteraciones pueden producir malformaciones en las plántulas con lo cual se reduce el vigor del lote de semillas. En conclusión el Sulfato de Amonio reduce el número y peso de los nódulos comparado con el Sulfato de Calcio; es decir, que aplicar un fertilizante que contenga N se afecta la capacidad de este cultivo de fijar N atmosférico vía simbiosis. El Sulfato de Ca incrementa la biomasa de hojas. La dosis de S que satisface los requerimientos del cultivo (20 kg ha⁻¹) incrementa el peso de los frutos. En cuanto a la calidad de la semilla, la fertilización azufrada solo tuvo las plántulas vigorosas del EA.

Tabla 1: Contenido foliar de N y S en R1 según tratamiento

Tratamiento	N			S			N:S
	%	g m ⁻²	g kg ⁻¹ MS	%	g m ⁻²	g kg ⁻¹ MS	
CaSO ₄ 10 kg S ha ⁻¹	6,07	14,6	60,7 e	0,28	0,68 ab	2,8 b	21,7
CaSO ₄ 20 kg S ha ⁻¹	6,35	16,5	63,5 c	0,30	0,78 a	3,0 a	21,2
(NH ₄) ₂ SO ₄ 10 kg S ha ⁻¹	6,50	14,8	65,0 b	0,26	0,59 b	2,6 c	25,0
(NH ₄) ₂ SO ₄ 20 kg S ha ⁻¹	6,63	14,6	66,3 a	0,28	0,62 b	2,8 b	23,7
Testigo	6,13	14,8	61,3 d	0,26	0,63 b	2,6 c	23,6
CaSO ₄	6,21	15,6	62,1 b	0,29	0,73 a	2,9 a	21,0 b
(NH ₄) ₂ SO ₄	6,57	14,7	65,6 a	0,27	0,60 b	2,7 b	24,3 a
10 kg S ha ⁻¹	6,28	14,8	62,8 b	0,27	0,64	2,7 b	23,3 a
20 kg S ha ⁻¹	6,49	15,6	64,9 a	0,29	0,70	2,9 a	22,4 b

Tabla 2: Nodulación y peso de la materia seca de órganos en R5 según tratamiento

Tratamiento	Nº m ⁻²		Peso seco (g m ⁻²)	
	Nódulos	Nódulos	Hojas	Frutos
CaSO ₄ 10 kg S ha ⁻¹	1658 ab	8,16 b	242,7 a	69,5 b
CaSO ₄ 20 kg S ha ⁻¹	1905 a	9,92 a	260,4 a	93,7 a
(NH ₄) ₂ SO ₄ 10 kg S ha ⁻¹	1604 bc	6,44 c	227,8 a	69,3 ab
(NH ₄) ₂ SO ₄ 20 kg S ha ⁻¹	1359 c	5,16 d	219,9 a	82,3 b
Testigo	1704 ab	6,12 c	241,9 a	85,8 ab
CaSO ₄	1781 a	9,04 a	251,6 a	81,6
(NH ₄) ₂ SO ₄	1482 b	5,08 b	223,8 b	75,8
10 kg S ha ⁻¹	1631	7,32	235,2	69,4 b
20 kg S ha ⁻¹	1632	7,56	240,1	88,0 a

Tabla 3: Calidad fisiológica de las semillas según tratamiento

Tratamiento	Germinación	Energía germinativa	EA (Plántulas vigorosas)	TF (Plántulas vigorosas)
			(%)	
CaSO_4 10 kg S ha ⁻¹	100,0	86,0	79,5	73,0
CaSO_4 20 kg S ha ⁻¹	100,0	87,3	82,5	76,5
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 10 kg S ha ⁻¹	100,0	86,0	77,0	73,0
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 20 kg S ha ⁻¹	99,7	86,0	80,5	74,5
Testigo	100,0	85,3	74,5	69,5
CaSO_4	100,0	86,7	78,2 b	74,8
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	99,8	86,0	81,5 a	73,8
20 kg S ha ⁻¹	100,0	86,7	78,2 b	73,0
10 kg S ha ⁻¹	99,8	86,0	81,5 a	75,5