

Efecto de la fertilización con fósforo, azufre y zinc en el cultivo de soja en la región pampeana norte de Argentina

Laureano Boga^{1,*} y Hugo Ramirez¹

Introducción

En Argentina se cultivan más de 20 millones de hectáreas de soja (SIIA, 2014). Tomando en cuenta la superficie cosechada en la campaña 2012/13 de los cultivos de trigo, cebada, maíz, sorgo granífero, girasol y soja, esta última representó en términos relativos el 62% del área total de estos cultivos (SIIA, 2013), resaltando la importancia relativa de la oleaginosa en la producción de granos del país. El consumo de fertilizantes en el cultivo de soja para la campaña 2012/13 fue estimado en 890 000 toneladas constituido básicamente por productos fosforados y azufrados siendo la dosis promedio de uso de 76 kg ha⁻¹ (Fertilizar, 2013). Considerando los requerimientos de nutrientes determinados para el cultivo por Ciampitti y García (2007) el nivel de fertilización actual estaría muy lejos de cubrir dichos requerimientos.

Respecto al impacto de la nutrición en la producción, nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) son los nutrientes que en mayor medida limitan el rendimiento, mientras que los cationes como potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) lo hacen solo en situaciones particulares y los micronutrientes pueden hacerlo en ambientes de alta producción (Salvagiotti, 2013).

La fertilización nitrogenada es poco frecuente debido a que el proceso de fijación biológica de N (FBN) puede cubrir alrededor del 50% del N acumulado en las condiciones de producción de la Región Centro Norte Argentina. Las fertilizaciones con N a la siembra no muestran respuestas en rendimiento y las aplicaciones en estados reproductivos (R1-R3) han mostrado resultados variables (García et al., 2009).

La fertilización fosforada es una práctica en adopción creciente debido a la posibilidad de predecir la magnitud de respuesta en función de la disponibilidad de P del suelo. Para la región pampeana argentina es posible obtener respuestas a aplicaciones de 20 kg de P de 300

y 200 kg ha⁻¹ para disponibilidades de 10 y 12 mg. kg⁻¹ de P, respectivamente (Gutiérrez Boem et al., 2005). Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que dichos umbrales de disponibilidad de P que determinan la respuesta, pueden variar bajo secuencias de monocultivo de soja (Bermúdez et al., 2014).

La fertilización azufrada es una práctica también habitual en la Región Centro Norte Pampeana basada en la respuesta encontrada ya en la década pasada, a pesar de que aun no se han desarrollado métodos de diagnóstico confiables basados en los análisis de suelo (Gutiérrez Boem et al., 2005).

Respecto a los micronutrientes, los más estudiados en la región pampeana son molibdeno (Mo), boro (Bo), zinc (Zn) y manganeso (Mn), presentando la respuesta a éstos, resultados contrastantes debido a que las deficiencias no son generalizadas o están asociadas a cultivos de alto rendimiento (Salvagiotti, 2013). Ferraris (2013) determinó que la deficiencia de cationes como el Zn, de baja movilidad en el suelo, puede ser diagnosticada y asociada con el nivel de respuesta del cultivo más fácilmente; tal como lo determinó este autor para maíz, no existiendo dicha información para el cultivo de soja. Sin embargo, Shittu et al. (2013) hallaron respuestas en soja e interacción positiva al agregado de P y Zn en suelos con 0.5 mg kg⁻¹ de Zn (DTPA) para 30 y 2 kg ha⁻¹, respectivamente; cuando fueron aplicados a la siembra. Rose et al. (1981), determinaron respuestas en distintas variedades de soja a la aplicación foliar de 4 kg ha⁻¹ de Zn como sulfato siendo dichas respuestas diferentes entre variedades y entre sitios experimentales.

Considerando que la disponibilidad de Zn en la Región Pampeana podría estar limitando el rendimiento de los cultivos (Sainz Rozas et al., 2013), que soja representa más del 60% del área de cultivos extensivos en Argentina y que existen evidencias de respuesta a Zn en soja en otras geografías, el objetivo de este estudio fue: i) evaluar la eficiencia de uso del P (EUP) aplicado en fertilizaciones

Tabla 1. Análisis de suelos de los sitios experimentales (0-20 cm). Campañas 2012-13 y 2013-14.

Sitio y año	Perg	Frr	Cf	Chj	DA	Perg	Co	Cf	Oli	Inrv	9J	Am
	2012					2013						
MO (%)	2.64	2.77	2.51	1.45	3.37	3.16	2.8	2.87	2.3	2.9	4.4	1.5
pH	5.7	6	6.1	6.2	5.4	5.4	6.1	6.1	5.8	6.1	5.8	6.1
P Bray (mg kg ⁻¹)	8.1	7.7	5.2	22.9	48.0	29.7	11.4	17.9	15.0	13.0	12.4	7.6
S-SO ₄ (mg kg ⁻¹)	5.7	6.1	8.2	5.9	10	11	10	6.5	11	9.0	7.2	2.0
Zn (mg kg ⁻¹) DTPA	0.5	0.5	0.5	0.4	1.3	0.9	0.8	0.8	1.0	0.7	0.5	0.4

¹ Mosaic de Argentina. *Correo electrónico: laureano.boga@mosaicco.com

Tabla 2. Estrategias de fertilización evaluadas en soja de primera. Protocolo común a todos los sitios. Los fertilizantes fueron aplicados al costado y por debajo de la línea al momento de la siembra.

Tratamiento	P	S	Zn	Fuente
	-----Nutrientes, kg ha ⁻¹ -----			
T1	0	0	0	-
T2	20	0	0	Fosfato monoamónico (FMA, 11-23-0)
T3	20	10	0	Mezcla física 40% de superfosfato simple (SFS, 9% P y 12% S) + 60% de FMA
T4	20	10	1	Mezcla química, MicroEssentials™ (12-17.4-0-10S-1Zn)

a la siembra con fertilizantes fosforados simples (P), combinados con S (PS) y Zn (PSZn); y ii) determinar la respuesta a Zn en el cultivo de soja de primera sobre una nutrición de base de 20P+10S.

Materiales y métodos

Durante las campañas 2012/13 y 2013/14 se instalaron doce ensayos a lo largo de la Región Centro Norte Pampeana. En la campaña 2012, las localidades fueron: Pergamino (Perg_2012), Ferre (Frr_2012), Cafferatta (Cf_2012) y Chaján (Chj_2012); mientras que durante el ciclo 2013 las localidades fueron Diego de Alvear (DA_2013), Pergamino (Perg_2013), Colón (Co_2013), Cafferatta (Cf_2013), 9 de Julio (9J_2013), Oliveros (Oli_2013), Inrville (Inrv_2013) y América (Am_2013). El diseño para todos los ensayos fue en bloques aleatorizados con 3 ó 4 repeticiones por tratamiento. Los ensayos fueron sembrados y cosechados mecánicamente.

La conducción de los ensayos fue realizada por los siguientes investigadores o empresas de investigación y desarrollo: Oliveros (Dr. Fernando Salvagiotti, INTA Oliveros), Colón, Pergamino y Ferré (Ing. Agr. MSc. Gustavo Ferraris, INTA Pergamino), América (DZD Agro), Chaján (Dr. Gabriel Espósito, Universidad Nacional Río IV), Diego de Alvear-Cafferatta (Agroconsultor), 9 de Julio (Clarion), e Inrville (Okandú). En la **Tabla 1** se presentan los análisis de suelo de los sitios experimentales y en la **Tabla 2** se describen los tratamientos evaluados.

Se estimaron la eficiencia de uso de fósforo (EUP), definida como kg soja obtenido por kg de P aplicado, para niveles de P Bray de hasta 10 mg kg⁻¹ y de 11 a 15 mg kg⁻¹ para los tres tratamientos de fertilización (20P, 20P+10S, 20P+10S+1Zn) y la relación insumo:producto (I/P); definida como kg de soja necesarios para pagar un kg de P de las distintas fuentes utilizadas.

Resultados y discusión

Esta red de ensayos abarcó una amplia variedad de suelos, desde Haplustoles del sur de Córdoba, Argiudoles del norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe, Hapludoles del centro de Buenos Aires y Hapludoles énticos con más de 50% de arena en el oeste de Buenos Aires, generando un amplio espectro de disponibilidades de fósforo (P); materia orgánica (% MO), pH y Zinc (Zn) (**Tabla 2**).

Los sitios de (Chj_2012); (DA_2013); (Perg_2013) y (Cf_2013) presentaron niveles de P muy por encima de 11-13 mg kg⁻¹, rango considerado como suficiente para alcanzar el 90% del rendimiento máximo del cultivo de soja (García et al., 2005). Los sitios de (Co_2013); (Oli_2013) y (Inrv_2013) estuvieron cercanos o dentro del rango crítico, mientras que en (Perg_2012); (Frr_2012); (Cf_2012); (9J_2013) y (Am_2013) los valores fueron inferiores al nivel crítico. De este modo el 38%, 23% y 39% de los sitios evaluados estuvieron por encima, cercanos y por debajo, respectivamente, del nivel de suficiencia citado anteriormente.

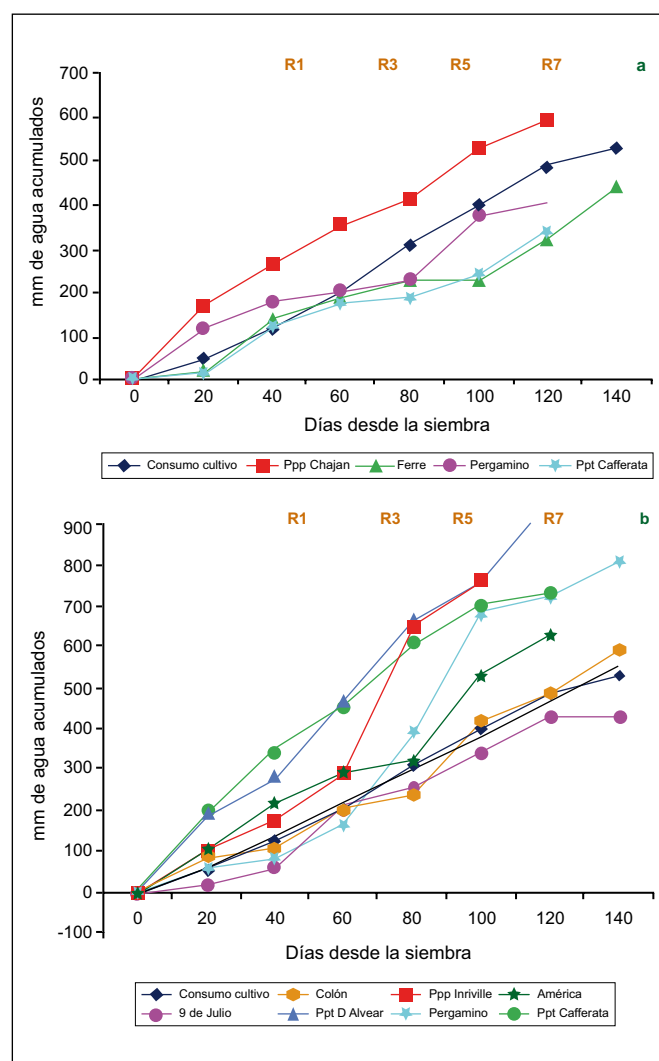


Figura 1. Consumo estimado de agua (Andriani, 1997) y precipitaciones acumuladas durante el ciclo de cultivo para campaña 2012-13 (a) y 2013-14 (b).

Tabla 3. Rendimiento en grano de soja para los tratamientos evaluados en los 12 sitios de ensayo. Campañas 2012-13 y 2013-14.

Sitio	Testigo	Rendimiento, kg ha ⁻¹			CV %	Valor -p
		20P	20+10S	20P+10S+1Zn		
Perg 2012	3199 C	3986 AB	3751 B	4187 A	7.5	0.006
Frr 2012	4623 B	4717 B	4895 B	5644 A	4.5	0.003
Cf 2012	4351	4577	4642	4593	3.9	0.16
Chj 2012	3289 C	3551 B	3726 AB	3858 A	4.9	0.008
DA 2013	4499	4694	4517	4657	2.7	0.13
Perg 2013	3588	3641	3698	3983	6.8	0.19
Co 2013	4143 B	4169 B	3803 C	5088 A	5.9	0.01
Cf 2013	3796 C	4207 B	4410 A	4469 A	2.3	0.0001
Oli 2013	3383 B	3571 A	3563 A	3441 AB	3.1	0.09
Inrv 2013	3186	3288	3197	3117	3.9	0.34
9J 2013	6776 C	7349 B	6731 C	8177 A	4.1	0.0004
Am 2013	4121	4316	4335	4307	5.1	0.47

* Rendimientos con letras distintas, para un mismo sitio, difieren significativamente entre sí.

Los niveles de S-Sulfato hallados superficialmente (0-20 cm) estuvieron muy cercanos o por debajo de 10 mg kg⁻¹, valor este considerado como umbral de respuesta en algunas referencias internacionales (García et al., 2009).

Respecto a Zn en el 90% de los sitios la disponibilidad fue inferior a 0.9 mg kg⁻¹, valor considerado como umbral para extracciones con DTPA por Sims y Johnson (1991).

La relación entre las precipitaciones acumuladas (Pp) en ciclo de cultivo para cada sitio y el consumo de agua (C) (Andriani, 1997), se presenta en la **Figura 1 a y b**. En la campaña 2012, las Pp durante los estadios reproductivos del cultivo (R1-R5) estuvieron cercanas o por debajo de C en tres de los cuatro sitios evaluados (**Figura 1a**), mientras que para 2013 las Pp superaron ampliamente el C en seis de los ocho sitios (**Figura 1b**).

El rendimiento promedio de las localidades ensayadas

Tabla 4. Análisis combinado de los 7 sitios con respuesta a la fertilización.

Tratamiento	Rendimiento, kg ha ⁻¹
Testigo	4079 C
20P	4339 B
20+10S	4272 B
20P+10S+1Zn	4627 A
p>F	
Sitio	<0.0001
Tratamiento	<0.0001
Sitio*Tratamiento	<0.0001

durante los dos años fue de 4329 kg ha⁻¹, siendo el sitio (9J_2013) el de mayor rendimiento superando los 7000 kg ha⁻¹, y el sitio de (Inrv_2013) el de menor rendimiento con 3100 kg ha⁻¹.

Se observaron respuestas significativas a alguno de los tratamientos de fertilización sobre el testigo en 7 de los 12 sitios ensayados (Perg_2012, Frr_2012, Chj_2012, Co_2013, Cf_2013, 9J_2013 y Oli_2013), los cuales presentaron niveles de P Bray cercanos o por debajo del umbral de respuesta citado anteriormente.

Considerando los 7 sitios con respuesta estadísticamente significativa a la fertilización (**Tabla 4**), la respuesta a la aplicación única de P (Testigo vs 20 P), fue de 260 kg ha⁻¹; la respuesta a la aplicación combinada de P+S

(Testigo vs 20P+10S), fue de 193 kg ha⁻¹; mientras que la respuesta a P+S+Zn (Testigo vs 20P+10S+1Zn), fue 548 kg ha⁻¹. La diferencia promedio de respuesta debida al Zn fue de 355 kg ha⁻¹ (20P+10S vs 20P+10S+1Zn).

En los sitios con nivel de P Bray inferior a 10 mg kg⁻¹, la EUP fue de 20.5, 13.0 y 56.8 kg soja por kg de P, mientras que en los sitios con nivel de P de entre 11 y 15 mg kg⁻¹ la EUP fue de 10.44, 7.60 y 27.95 kg soja por kg de P para P, PS y PSZn, respectivamente.

La relación de precios (kg soja para comprar 1 kg de P) calculada en base a valores de julio 2014 fue de 8.91, 9.30 y 13.54 kg de soja por kg de P como FMA, mezcla física con P y S y mezcla química con P, S y Zn, respectivamente. La EUP superó la relación de precios en todos los tratamientos cuando la disponibilidad de P fue menor a 10 mg kg⁻¹ y solamente lo hizo en el tratamiento PSZn cuando la disponibilidad de P se situó entre 11 y 15 mg kg⁻¹ (**Figura 2**).

El patrón de respuesta a Zn se analizó en relación al nivel de Zn en suelo (**Figura 3**) y al rendimiento promedio del sitio (**Figura 4**). En el primer caso, empleando el método gráfico de Cate y Nelson (1965) y considerando una respuesta positiva y un umbral de respuesta de 0.9 mg kg⁻¹ (Rose et al., 1981), se determinó un 58.3% de casos diagnosticados correctamente. Respecto a rendimiento se observa una tendencia a aumento de respuesta a medida que aumenta el potencial de rendimiento del sitio.

Conclusiones

- Los tratamientos de fertilización generaron respuestas significativas en rendimiento en el 58% de los casos evaluados.

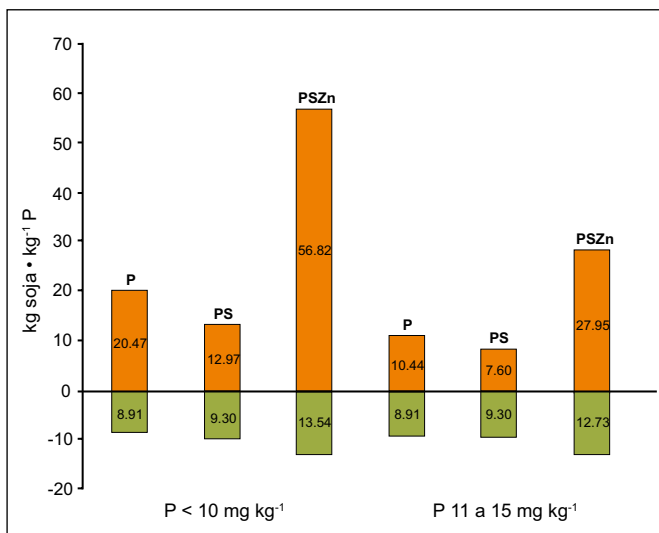


Figura 2. Eficiencia de uso del P aplicado en soja en cada estrategia de fertilización (barras verdes) y sus respectivas relaciones de precios según las fuentes de fertilizantes (barras anaranjadas) en dos rangos de niveles de P Bray-1 a 0-20 cm.

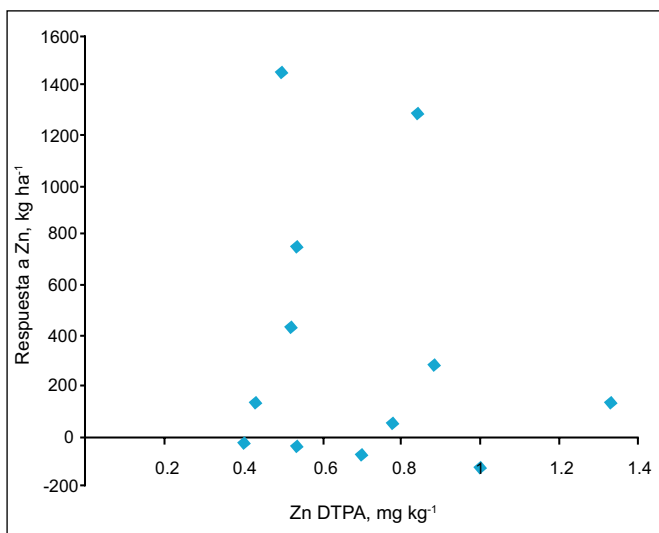


Figura 3. Respuesta a Zn en soja en función de la disponibilidad de Zn en suelo.

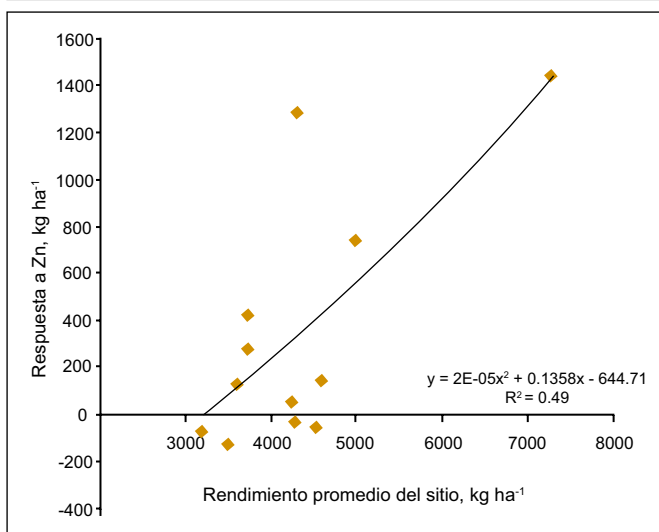


Figura 4. Respuesta a Zn en soja en función del rendimiento promedio del sitio.

- La EUP fue consistentemente mayor a la relación de precios cuando el nivel de P Bray fue menor a 10 mg kg⁻¹.
- La mayor diferencia entre EUP y relación de precios (mayor beneficio económico) se dio cuando el P fue aplicado junto con S y Zn.
- Los dos factores que mostraron una cierta asociación con la respuesta a Zn observada fueron el nivel de este nutriente en suelo y el potencial de rendimiento del sitio.
- Las fertilizaciones con 20P+10S+1Zn mostraron los mayores retornos económicos a la inversión sobre los tratamientos con 20P o 20P+S en suelos con menos de 10 mg kg⁻¹ de P Bray, y niveles de Zn menores a 1 mg kg⁻¹ en ambientes de producción superiores a 3000 kg ha⁻¹.

Bibliografía

- Andriani, J.M. 1997. Uso del agua y riego. *En* El cultivo de la soja en la Argentina. INTA, Centro Regional Córdoba. EEA Marcos Juárez–EEA Manfredi. Coordinación Subprograma Soja. pp. 142-150.
- Ciampitti, I.A., y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. IPNI. Archivo Agronómico. 11:13-16.
- Bermúdez, M., M. Díaz-Zorita, G. Espósito, G. Ferraris, G. Gerster, M. Saks, F. Salvagiotti, y L. Ventimiglia (ex-aequo). 2014. Fertilización con fósforo en secuencias continuas de soja. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 14:2-5.
- Fertilizar. 2013. Consumo de Fertilizantes campaña 2012-13. www.fertilizar.org.ar [consulta: 06 febrero 2014].
- Ferraris, G.N. 2013. Micronutrientes en Región Pampeana Argentina. Posicionamiento y tecnología de Aplicación. *Actas Simposio de Fertilidad 2013.*; Rosario, pp 124-134.
- García, F.O., e I.A. Ciampitti. 2009. La Nutrición del cultivo de Soja. *En*: García, F.O., I.A. Ciampitti, y H. Baigorri (Eds). *Manual de Manejo del Cultivo de Soja*. Agroeditorial Alejandro Matthies. Buenos Aires, Argentina pp. 33-73.
- García, F.O., L. Picone, y A. Berardo. 2005. Fósforo. *En*: Echeverría, H.E., y F.O. García (Eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Editorial INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 99-121.
- Gutierrez Boem, F.H., y J.D. Sheiner. 2005. Soja. *En*: Echeverría, H.E., y García, F.O. (Eds.) *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 283-297.
- Rose, I.A., W.L. Felton, y L.W. Banks. 1981. Responses of four soybeans varieties to foliar zinc fertilizer. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 21:236-240.
- Sainz Rozas, H. R., M. Eyherabide, H.E. Echeverría, P.A. Barbieri, H.P. Angelini, G.E. Larrea, G.N. Ferraris, y M.R. Barraco. 2013. Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos?. *En* Simposio Fertilidad 2013. Mayo de 2013. Rosario, Santa Fé. Argentina.
- Salvagiotti, F. 2013. Cómo podemos aumentar los rendimientos de soja?. La visión desde la nutrición. *Proc Simposio de Fertilidad 2013*. Rosario, pp. 45-50.
- SIIA. 2014. Sistema integrado de información Agropecuaria. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación. www.siiia.gov.ar [consulta: 05 febrero 2014].
- Shittuo, S., y J.A. Ogunwale. 2013. Phosphorous-Zinc interaction for soybean production in soil developed on chernozem in Ekiti State. *Agriculture Journal*. 8:78-82.
- Sims, J.T., y G.V. Johnson. 1991. Micronutrient soil tests. *In* micronutrients in agriculture (Book series 4): Mortvedt, J., F.R. Cox, L.M. Shuman, y M.R. Welch (Eds.). Ediciones SSSA. Madison, Wisconsin, USA. pp. 427-476. 🌱