

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

"Trabajo Final presentado para optar por el Grado de
Ingeniero Agrónomo"

**FERTILIZACIÓN AZUFRADA EN
EL CULTIVO DE SOJA**

BUFFA, JOSE FELIPE
30.151.144

Directora: FERNANDEZ, ELENA M

Río Cuarto - Córdoba
Mayo 2007

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Fertilización azufrada en el cultivo de soja

Autor: Buffa, José Felipe

DNI: 30.151.144

Director: Elena M. Fernandez

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

I. ÍNDICE DEL TEXTO

	Página
I. Índice de Texto.....	III
II. Índice de Figura.....	IV
III. Índice de Cuadros.....	VI
IV. Índice de Fotos.....	VII
V. Resumen.....	VIII
VI. Summary.....	IX
1. Introducción.....	1
2. Hipótesis.....	12
3. Objetivos Generales.....	12
4. Objetivos Específicos.....	12
6. Materiales y Métodos.....	13
a) Observaciones realizadas.	14
7. Resultados y discusiones.....	16
a) Análisis de hoja en R1.....	17
b) Estado fenológico R5.....	18
➤ Nodulación.	18
➤ Materia seca.	19
c) Estado fenológico R7.....	22
➤ Materia seca.	22
d) Biomasa.....	25
e) Partición de fotoasimilados y nutrientes en R5 y R7.....	27
f) Componentes de rendimiento.....	27
g) Rendimiento final.....	31
h) Calidad fisiológica de las semillas.....	32
i) Análisis económico.....	36
8. Conclusión.....	37
9. Anexo.....	38
10. Bibliografía citada.....	40

II. ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Precipitaciones ocurridas antes y durante el ciclo del cultivo.....	14
Figura 2: Número de plantas a cosecha según tratamiento.....	16
Figura 3: Número de plantas a cosecha según fertilizante.	17
Figura 4: Número de nódulos según tratamiento.....	18
Figura 5: Número de nódulos según fertilizante con S.....	18
Figura 6: Peso de los nódulos según tratamiento	19
Figura 7: Peso seco de nódulos según fertilizante con S.....	19
Figura 8: Peso seco de las hojas según tratamiento.....	20
Figura 9: Peso seco de las hojas según fertilizante.....	20
Figura 10: Peso seco de ramas en R5 según tratamiento.	21
Figura 11: Peso seco de tallos en R5 según tratamiento.	21
Figura 12: Peso seco de los frutos en R5 según tratamiento.	21
Figura 13: Peso seco de los frutos según dosis de S.....	22
Figura 14: Peso seco de los frutos según fertilizante.....	22
Figura 15: Peso seco de hojas según tratamiento.	23
Figura 16: Peso seco de hojas según fertilizante	23
Figura 17: Peso seco de ramas en R7 según tratamiento.....	24
Figura 18: Peso seco de los tallos según tratamiento.	24
Figura 19: Peso seco de los tallos según dosis de S.	24
Figura 20: Peso seco de los frutos según tratamiento en R7.	25
Figura 21: Peso seco de los frutos según fertilizante.	25
Figura 22: Peso seco de los frutos según dosis de S.....	25
Figura 23: Biomasa en los estadios R5 y R7 según tratamiento.	26
Figura 24: Partición hacia las estructuras reproductivas según tratamiento.....	27
Figura 25: Número de frutos por planta según tratamiento.....	28
Figura 26: Número de chauchas por planta según dosis de S.....	28
Figura 27: Número promedio de semillas por frutos según tratamiento.....	29
Figura 28: Peso de 1000 semillas según tratamiento.	30
Figura 29: Peso de las 1000 semillas según fertilizante	31
Figura 30: Peso de 1000 semillas según dosis de S.....	31

Figura 31: Rendimientos en qq ha ⁻¹ según tratamiento.	31
Figura 32: Energía germinativa según tratamiento.	33
Figura 33: Porcentaje de plántulas vigorosas en el Test de Envejecimiento Acelerado según tratamiento.	34
Figura 34: Porcentaje de plántulas vigorosas en el Test de Envejecimiento Acelerado según fertilizante.....	34
Figura 35: Porcentaje de plántulas vigorosas en el Test de Envejecimiento Acelerado según dosis de S.....	34
Figura 36: Porcentaje de plantas vigorosas en TF, según tratamiento.	35
Figura 37: Porcentaje de plántulas vigorosas en TF, según dosis de S.....	35
Figura 38: Porcentaje de plántulas vigorosas en TF según fertilizante.	35

II. ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1: Requerimientos nutricionales de la soja.	1
Cuadro 2: Características del fertilizante azufrado.....	8
Cuadro 3: Análisis de hoja en R1 según tratamiento.....	17
Cuadro 4: Número de plantas m ⁻² , Frutos plantas ⁻¹ , Semillas frutos ⁻¹ y semillas m ⁻² según tratamiento.	29
Cuadro 5: Rendimiento de cada parcela medido con la cosechadora.....	32
Cuadro 6: Análisis económico según tratamiento en \$ ha ⁻¹	36

ÍNDICE DE FOTOS

	Página
Foto 1: Diferencia de color de los folíolos de las hojas de las parcelas fertilizadas con S y el testigo.....	21
Foto 2: Altura de las plantas según tratamientos.....	26

III. Resumen

Los suelos de la región sureste de la provincia de Córdoba fueron perdiendo su fertilidad debido a la intensificación de la agricultura en detrimento de la ganadería, a la reducción de las gramíneas en la rotación, al aumento de la superficie sembrada con soja (*Glycine max* (L.) Merr) y al bajo aporte de fertilizantes. El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta del cultivo de soja a la fertilización azufrada en un sistema de agricultura continua y evaluar las fuentes y dosis de azufre. El ensayo se realizó al SW de la ciudad de Corral de Bustos-Córdoba. La siembra se realizó con un cultivar de grupo de madurez 3,7 (DM 3700) el 03/11/05. Durante el ciclo del cultivo se evaluó la emergencia de las plántulas, en R1 el contenido de N y S en hojas, en R5 la nodulación y la materia seca, esta última también en R7, y a cosecha el rendimiento y sus componentes. El Sulfato de Ca aumentó el peso pero no el número de los nódulos, en cambio el Sulfato de Amonio produjo una disminución de los dos parámetros. El S incrementó, no significativamente, la biomasa acumulada durante el ciclo del cultivo, el peso de las semillas, el número de semillas por unidad de superficie y los rendimientos. El fertilizante que mostró mejor comportamiento en estos parámetros fue el Sulfato de Ca con una dosis de 20 kg de S ha⁻¹. La germinación y el vigor, con el Test de Frío y el de Envejecimiento Acelerado, no se modificaron, pero sí hubo diferencias en las plántulas vigorosas. Al no existir diferencias significativas entre los rendimientos la fertilización azufrada no es económicamente viable dadas las condiciones de este trabajo.

Palabras clave: soja, Sulfato de Ca, Sulfato de Amonio, biomasa, rendimiento.

Summary

The soils of SE region of Córdoba were losing its fertility because of: intensive agriculture application in order to stop cattle detriment; reduction of grass rotation; increase of surface sowed with soybean (*Glycine max* (L) Merr.) and reduced rate of fertilization. The objective this study was to evaluate the soybean cultivation react in S fertilization of a continuous agriculture system, and also to evaluate sources and doses of S. The experiment was done in the SW of Corral de Bustos-Cordoba-. Sowing was realized with a maturity group 3.7 (DM 3700) cultivar on 3 November 2005. During growing cycle was evaluated the plants emergence, in R1 the N and S contents in leaves; in R5, nodulation and dry matter; the last one also in R7 and at harvest its components and production. The nodules weight but not nodules number increase with calcium sulphate, but not changes this parameters with ammonium sulphate. A tendency to increase the biomass during the crop season, 1000-seed weight, the seeds number m⁻² and yield was observed with S application. The calcium sulphate was best fertilizer with a 20 kg S ha⁻¹. Germination and vigor did not change -with cold test and accelerated aging test-, but was difference in seedling vigor. The fertilization with S is not economic in the work condition.

Key word: soybean, calcium sulphate, ammonium sulphate, biomass, yield.

Introducción

La soja (*Glycine max* (L.) Merr.), con 15 millones de hectáreas, alcanzó la mayor superficie del área sembrada por un cultivo en la historia de Argentina. Sus granos y derivados representan actualmente el principal producto de exportación del país. Esta gran expansión se sustenta en la combinación de la implementación de la siembra directa y del uso de glifosato en sojas transgénicas (RR), que permitió simplificar el control de las malezas y disminuir los costos de producción, posibilitando mantener la competitividad de las exportaciones a pesar de los subsidios a la agricultura en los países desarrollados (Peticari, 2006).

Los suelos aptos para la agricultura de la región sureste de la provincia de Córdoba, en general, en su origen presentaban una alta fertilidad química que se fue degradando, fundamentalmente, a partir de la intensificación de la agricultura (mayores rendimientos y reducción de períodos bajo pastura) (García, 1999). Actualmente, en esta región predomina la secuencia doble cultivo trigo/soja y soja de primera, que en conjunto ocupan una superficie de 2 millones de hectáreas produciendo una alta exportación de nutrientes del suelo (García *et al.* citado por Fontanetto *et al.*, 2004).

Si bien las técnicas de manejo han mejorado, desde comienzo de los '90 hasta la actualidad (variedades, fechas de siembra, control de malezas, cosecha, etc.), el uso de fertilizantes en este cultivo ha sido muy escaso, limitándose a aplicaciones de los mismos como arrancadores en algunas situaciones -principalmente fósforo (P)- (García, 1999).

Esta situación afectó gradualmente la productividad de los suelos por la alta demanda de nutrientes de los cultivos; se produjeron reducciones en el contenido, entre otras, de materia orgánica (MO), nitrógeno (N), P, azufre (S), calcio (Ca) y de algunos micronutrientes. La soja agravó aún más el deterioro químico mencionado, debido a sus altos requerimientos de nutrientes (Cuadro 1) en relación con otros cultivos y al aumento en la frecuencia dentro de las rotaciones (Galarza *et al.*, 2001).

Cuadro 1. Requerimientos nutricionales en soja¹.

Nutriente	Requerimiento <i>kg tn⁻¹ grano</i>	Rendimiento de 4000 kg ha ⁻¹ *	
		Necesidad <i>kg ha⁻¹</i>	Extracción <i>kg ha⁻¹</i>
Nitrógeno	80	320	240
Fósforo	8	32	27
Potasio	33	132	78
Calcio	16	64	12
Magnesio	9	36	11
Azufre	7	28	19

* Estimaciones promedio a partir de referencias bibliográficas (García, 1999).

El cultivo de soja tiene altos requerimientos de nutrientes (Cuadro 1) debido a su alto contenido de proteínas. Desde el punto de vista energético, las proteínas y el aceite de soja tienen igual o mayor valor biológico que los hidratos de carbono de los cereales a pesar de las diferencias en rendimiento: 7-8 t ha⁻¹ de maíz, 3-4 t ha⁻¹ de trigo contra 3-4 t ha⁻¹ de soja. Producir soja requiere mayor energía metabólica que los cereales (Gudelj y Vallone, 2000).

Azufre

Entre los nutrientes antes mencionados, el S ha alcanzado gran relevancia en los últimos años. En algunas áreas del país se están realizando fertilizaciones, aunque no se cuenta con información precisa sobre el tipo de fertilizante como así tampoco de las dosis utilizadas o adecuadas para cada situación.

La importancia del S en la soja radica en que es parte constituyentes de tres aminoácidos esenciales (cistina, cisteína y metionina), los cuales intervienen en la formación de varias proteínas. También la formación de clorofila requiere de la presencia de S, participa en la síntesis de aceites y vitaminas, por otro lado aumenta la tolerancia a la sequía y el suministro de este elemento a la planta mejora la nodulación (Tisdale *et al.*, 1993). El S participa en el metabolismo de los nódulos y forma parte de ciertas proteínas (ferredoxinas) que intervienen en la reducción del N₂. Se han observado incrementos en la nodulación como respuesta a la fertilización azufrada en suelos deficientes en este elemento (Fernandez Caniggia, 2003). Al ser un nutriente poco móvil en la planta sus deficiencias se presentan en las hojas jóvenes, las cuales se presentan amarillentas o cloróticas (Tisdale *et al.*, 1993). Por otro lado, la concentración de S disminuye marcadamente con la edad de la planta por removilización (Hitsuda *et al.*, 2004).

La mayor reserva de S en los suelos, al igual que para el N, se encuentra en forma orgánica. El S orgánico es mineralizado a formas inorgánicas disponibles para los cultivos (sulfatos, SO₄⁻), a través de la acción microbiana (mineralización). Las formas inorgánicas pueden ser perdidas por lavado o en forma gaseosa. A diferencia del N, la reserva original del S en el suelo es la roca madre. Los aportes externos al sistema suelo-planta incluyen la incorporación por lluvias ácidas (en zonas industriales), la deposición atmosférica, los residuos orgánicos y los fertilizantes (Mengel y Kirkby, 2000).

En las zonas no industriales la provisión externa de S al suelo ha dependido principalmente de la aplicación de fertilizantes que contuvieran este nutriente como acompañante, por ejemplo el superfosfato simple que posee 20 % de P y 12 % de S (Melgar y Gearhart Honeywell, 2003).

A mediados de la década pasada, Melgar y Gearhart Honeywell (2003), en lotes donde se laboreaba de modo permanente, con la adopción de la siembra directa (SD) comenzó a verificarse el proceso inverso a la mineralización, debido a la acumulación de

MO en el estrato superficial del suelo. Dicha acumulación implica invertir la velocidad de los procesos habituales del ciclo de la MO, es decir el predominio de la inmovilización sobre la mineralización. Por lo tanto, los nutrientes contenidos en los residuos de los cultivos no se liberan al suelo y en consecuencia bajan los niveles de las formas oxidadas disponibles para las plantas. Se ha estimado que el S mineralizado representa sólo un 1 a 3 % del S total. Estos autores citan estudios de Sakavedan quien encontró diferencias en la mineralización en praderas según la fertilidad del sitio (30 y 60 kg de S ha⁻¹ año⁻¹ con baja y alta fertilidad, respectivamente). También cita a Kirchman, quien encontró, en suelos con 35 años de agricultura continua, disminución del S total a razón de 2 a 6 kg ha⁻¹ año⁻¹ como resultado de la mineralización neta cuando no se aplicaron fertilizantes. Esto indicaría que la inmovilización y subsecuente mineralización de los suelos está muy relacionada a la fertilidad de los mismos.

La inmovilización del sulfato a formas orgánicas es fuertemente influenciada por la disponibilidad del sustrato. Con el agregado de residuos carbonados la incorporación de sulfato a formas orgánicas aumenta rápidamente. Dicha inmovilización se correlaciona positivamente con las relación C:S. Es así que la incorporación de paja de cereales -de alta relación C:S- aumenta la inmovilización del S, disminuyendo su disponibilidad a los cultivos en el corto plazo así como el potencial de pérdidas por lixiviación (Melgar y Gearhart Honeywell, 2003). También, Stewart *et al.* citados por Cordone y Martínez (2000) encontraron inmovilización neta de S cuando el rastrojo de trigo tenía menos de 0,15 % de S y la relación C:S era mayor que 200:1.

Según Melgar y Gearhart Honeywell (2003), el proceso de lavado es el principal mecanismo de pérdida de S de los sistemas agrícolas, además de la extracción por granos cosechados. Por esta razón, las características de los suelos que afectan el movimiento de agua en el mismo, tales como textura, macroporosidad y presencia de horizonte B textural, también influyen las pérdidas de S como sulfato. El volumen de agua que pasa por el suelo y no es absorbido, como el balance entre precipitación - evapotranspiración, el tipo y estadio del cultivo y su tasa de extracción de nutrientes, influye significativamente en la magnitud de las pérdidas. Estos mismos autores mencionan que el conocimiento local acerca de la lixiviación de sulfatos es escaso en la Argentina.

La situación descripta creó un desbalance en el suministro de S (Cordone y Martínez, 2000). Según García (1999), las deficiencias de este nutriente comenzaron a manifestarse en los últimos años debido a que la disponibilidad del mismo -para las plantas- deriva aproximadamente en un 90 % de la mineralización de la MO. Desde la incorporación de la SD, la mineralización ha disminuido un 140 %, ya que esta tecnología no realiza remoción del suelo.

El S presenta una serie de dificultades para obtener una determinación confiable en los análisis de suelo. Estos no son tan precisos para indicar deficiencias de S como lo son para otros nutrientes (por ejemplo P) (Cordone y Martínez, 2000). El S tiene una dinámica semejante al N, pero en la forma iónica (SO_4^-) es más adsorbido por los coloides del suelo que el nitrato. La complejidad de la dinámica de este elemento y la existencia de diferentes formas químicas en el suelo, que contribuyen a la nutrición de la planta, han dificultado la obtención de una metodología capaz de ofrecer resultados válidos para una gran variedad de condiciones de suelo y ambiente (Tomé, 1997). Además, existen grandes variaciones en el contenido de este nutrientes entre diversas capas del suelo (Hitsuda *et al.*, 2005). Por lo tanto, de la misma forma que para el N no existe una metodología de laboratorio universalmente aceptada para ofrecer índices de disponibilidad de S en el suelo (Tomé, 1997). La información disponible hasta hoy considera que un nivel de 10 ppm de S como sulfatos sería indicativo de respuesta. Este nivel crítico no sería extrapolable a suelos con alto contenido de MO como los del SE de Buenos Aires ya que valores de S de 5 ppm no se correlacionan con respuestas a su agregado. Al mejorar el ambiente edáfico, mediante la fertilización, puede hacerse necesario un cambio de los cultivares utilizados para evitar excesivo crecimiento y vuelco. Es conveniente el diagnóstico de fertilización de S en base al tipo de ambiente que presentan respuestas más frecuentes (Galarza, 1999).

Considerando los problemas planteados anteriormente, se ha propuesto la estimación de la cantidad de S durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo a través de la concentración del mismo en la parte aérea en los primeros estadios de crecimiento. El crecimiento inicial del cultivo depende del contenido del sulfato en las capas superiores del suelo, luego, cuando el cultivo se ha establecido, las raíces exploran las capas más profundas del suelo utilizando el S acumulado en las mismas (Hitsuda *et al.*, 2005). También, se ha propuesto un índice nutricional de S con la relación N:S en las hojas, que varía entre 40:1 y 30:1 para las leguminosas y los cereales, respectivamente (Dijkshoorn y Wijk, 1967).

En algunos países están utilizando exitosamente para, el diagnóstico de fertilización, una combinación de los valores de S-SO_4^- y del S orgánico fácilmente mineralizable. Sin embargo, generalmente, existe una falta de ajuste entre los resultados de los análisis de algunas de las formas de S en el suelo y la respuesta de los cultivos. Las determinaciones en el tejido vegetal, cuando se realizan en estados avanzados del cultivo, normalmente no pueden compensar las deficiencias iniciales. Estas limitaciones sugieren la conveniencia de buscar una vía alternativa que permita avanzar en la recomendación de la fertilización azufrada, para lo cual se puede caracterizar como un "ambiente deficiente" a aquéllos en los cuales se ha obtenido respuesta a la fertilización con S. Cuando se identifican convenientemente es posible recomendar allí la fertilización azufrada de soja u otros cultivos

(Cordone y Martínez, 2000). Estos mismos autores realizaron una caracterización de ambientes que se detallan a continuación:

* Ambientes de bajo rendimiento de los cultivos, también denominados de **deficiencia crónica** o **deficiencia permanente**. Estaría causada por diversos factores, entre los cuales podemos mencionar:

- Bajo contenido de MO del suelo, causado por muchos años de agricultura continúa y sin reposición de nutrientes

- Erosión en diversos grados, con pérdida de parte del horizonte superficial más rico en MO.

- Presencia de compactaciones subsuperficiales por pisos de disco o arado, generalmente asociada al tipo de suelo y al manejo que se realiza, provocan una menor profundización de raíces y menor abastecimiento de nutrientes.

- Se ha encontrado, en un mismo ambiente, mayor respuesta cuando se hace SD que cuando se laboreo el suelo.

* Ambientes de rendimiento medio a alto de los cultivos, también denominados de **deficiencia inducida**. El tiempo transcurrido antes de que se manifieste la deficiencia de S varía, pues depende de las reservas del suelo, de la tasa de mineralización, del S aportado por fuentes externas, del cultivo, del sistema de laboreo y de la intensidad de cultivo (uno o dos cultivos al año). En general, se trata de lotes en los que se han ajustado todas las prácticas de manejo y se han obteniendo de buenos a muy buenos rendimientos en los últimos 5 a 10 años. Esta deficiencia no se manifestaría en los mismos lotes si, por ejemplo, se mejoraran aspectos tales como densidad de plantas, sanidad, manejo del agua del suelo, etc. Estaría causada por:

- Prácticas de manejo que incluyan el uso de cultivares de alto potencial de rendimiento con mayores requerimientos de nutrientes y el suelo no puede suministrar esa cantidad.

- Sistema de agricultura continua, con disminución del contenido de MO. Se sostiene que después de un cierto tiempo de agricultura continua, cuando la relación C:N se estabiliza, las reservas de S pueden continuar disminuyendo en relación con el C y el N. Por lo tanto, la deficiencia de S podría no ser evidente hasta mucho tiempo después que se manifiesta la deficiencia de N.

- Aporte de residuos vegetales. El efecto del rastrojo sobre la deficiencia de S depende de su manejo y del contenido de este nutriente en el mismo. En algunas circunstancias, el rastrojo puede disminuir la cantidad de S disponible para el cultivo siguiente por inmovilización.

- Fertilización desbalanceada. En ambientes de productividad media a alta de la región pampeana húmeda, la deficiencia de N condujo a la fertilización nitrogenada,

posteriormente se fertilizó con P. La reposición de N y P durante años condujo a un desbalance en la relación N:P:S, uno de los motivos por los cuales se manifestaría actualmente la respuesta a la fertilización con S.

Nitrógeno

El N es otro nutriente importante en el cultivo de soja, su ciclo (entradas y salidas) en el suelo es semejante al del S. Las raíces absorben el N del suelo en forma de nitratos o amonio. En el suelo se mueve, principalmente, por flujo masal (Tisdale *et al.*, 1993). Además de este mecanismo, este cultivo, puede obtener N a través de la fijación biológica (FBN). Por este medio puede llegar a absorber entre el 25 y el 84 % del total del N absorbido, siendo más frecuentes valores de 50 % del N total (González, 1996). La FBN es más eficiente con niveles bajos de disponibilidad del nutriente en el suelo. Hay una fracción de N que la soja necesariamente tiene que extraer del suelo y si éste presenta valores medios a bajos de MO y/o poca remoción de la misma (mineralización), quizás no pueda aportar al cultivo la cantidad de N suficiente para alcanzar producciones óptimas (Darwich, 1999).

La FBN es influenciada por la disponibilidad de N, S y agua en el suelo, entre otros factores. El aporte de la FBN representa un ahorro del N del suelo, pues el porcentaje de N acumulado en la planta -proveniente de la fijación- presenta una relación inversa con la cantidad de N disponible en el suelo, el que constituye la limitante más importante de la FBN (Giorda y Baigorri, 1997); la magnitud de dicho proceso disminuye cuando el cultivo es expuesto a ambientes con elevada disponibilidad de nitratos N-NO₃ (Imsande citado por Cicore *et al.*, 2005).

La obtención de N del suelo es energéticamente menos costosa para la planta que el proceso simbiótico. El exceso del mismo en el suelo -especialmente en forma de nitratos-, sea proveniente de la mineralización o de la fertilización, tiene un efecto inhibitorio sobre la simbiosis, disminuye la nodulación y el N derivado de la FBN (Fernandez Caniggia, 2003).

El aporte de S a suelos con deficiencias de este nutriente incrementa el número y peso de los nódulos (Díaz Zorita y Fernández Caniggia, 1998). A su vez, la FBN es disminuida cuando el contenido de humedad del suelo es menor al 50 % del agua útil (Cicore *et al.*, 2005).

Según Venturi y Amaducci (1984) en ausencia de otras limitaciones importante (radiación, agua, entre otros), el rendimiento del cultivo de soja es función directa del N acumulado en su biomasa aérea, pues explica el 96 % de la variabilidad en el rendimiento en grano. Además, por cada incremento de 1 kg de N ha⁻¹ en su biomasa total generará un incremento cercano a 10 kg de grano ha⁻¹.

Generalmente, no se ha recomendado el uso de N en soja, debido a que este elemento produce efectos no deseados tales como inhibición de la formación de nódulos,

excesivo desarrollo vegetativo que favorece el vuelco, enfermedades y hasta una mayor evapotranspiración, aunque éste elemento es importante para la formación de proteínas, nucleótidos, de clorofila y consecuentemente para el crecimiento vegetativo (Galarza *et al.*, 2001).

En un trabajo realizado por Melgar y Gearhart Honeywell (2003), se observó que la aplicación de N a la siembra (200 kg ha^{-1}) produjo un efecto depresor de la nodulación, aumento de la biomasa total y de los rendimientos, aunque los mismos no fueron estadísticamente diferentes al testigo. Resultados similares se observaron cuando se aplicó $30 \text{ kg de N ha}^{-1}$ en V4 y R3. Por lo que se concluyó que cuando se inocula la semilla no es recomendable la aplicación de N en ningún momento del ciclo del cultivo.

Según Lammond citado por Vivas *et al.* (2002), la fertilización azufrada está estrechamente relacionada con la fertilización nitrogenada, debido a que ambos nutrientes están asociados en la formación de la clorofila y a la FBN.

Calcio

El Ca, como se observa en la Cuadro 1, también es un nutriente importante para el cultivo de soja debido a sus altos requerimientos (solamente menor que N y K). La disponibilidad original de Ca de los suelos pampeanos es alta. Sin embargo, la intensificación de la agricultura ha provocado la disminución de los niveles de bases y del pH (García, 2006).

El Ca se encuentra en la solución del suelo como Ca^{++} y es la forma como es absorbido por las raíces. Su movimiento en el suelo hacia la superficie de las raíces es principalmente por flujo masal. Este nutriente es importante en el metabolismo de las plantas, activa sistemas enzimáticos que controlan el crecimiento de las mismas, participa activamente en el metabolismo del N, forma parte de la pared celular y contribuye a mejorar la resistencia a enfermedades (Wainwright citado por Asufrar, 2005). Otro efecto importante del Ca es que favorece la agregación de las partículas de suelo, disminuye la acidez, mejora la absorción de otros nutrientes, favorece la formación de estructuras en suelos compactados, lo que permite una mejor oxigenación y drenaje del agua y es esencial para los microorganismos del suelo, tanto para su desarrollo como para su actividad (Asufrar, 2005).

Fertilización en el cultivo de soja

En los últimos años se ha generalizado la fertilización de los cereales, porque responden en mayor magnitud al agregado de nutrientes, pero la fertilización de la soja se presenta como una necesidad debido al incremento de este cultivo en la rotación. Éste, como cualquier otro, responde a un suelo fértil (Galarza *et al.*, 2001).

En Argentina, algunos trabajos muestran incrementos del rendimiento de soja en respuesta a la fertilización con S. Los mismos, generalmente, se han encontrado en ambientes pobres, con alto contenido de arena, bajo contenido de MO y/o una larga historia agrícola (Echevarría *et al.* y García citados por Pergolini, 2004). La soja es más sensible al bajo contenido de S en el suelo que el maíz, pero de requerimientos similares al trigo y sorgo y a su vez menos susceptible a deficiencias de este nutriente que el girasol (Hitsuda *et al.*, 2005).

No hay un fertilizante de S especial para aplicación en SD, sino que se pueden utilizar diferentes productos, con sus desventajas y ventajas correspondientes, acompañado de otros elementos que pueden ser tomados por el cultivo y de gran importancia para el mismo. Los principales tienen las siguientes características:

Cuadro 2: Características de fertilizantes azufrados.

Producto	S-N-Ca	Ventajas y desventajas
Sulfato de Amonio	23-21-0	Alta solubilidad. Aporta N. Granular apto para mezclas físicas
Sulfato de calcio (Yeso agrícola)	18-0-23	Baja solubilidad – Baja concentración. Granular apto para mezclas físicas

Fuente: Melgar *et al.* (2001).

El Sulfato de Ca, además de poseer muy bajo costo por unidad de nutriente, es ambientalmente seguro, ya que evita contaminaciones de las napas freáticas y no produce toxicidad por exceso de dosificación, por lo tanto es factible su uso en la producción orgánica. Principalmente, se lo encuentra como Sulfato de Ca hidratado, el cual posee un 79,07 % en peso del fertilizante y el resto es agua cristalizada (20,93 %), a veces denominada también agua de combinación, la cual no debe ser confundida con la humedad que posee el producto. Su contenido de Ca es de 23,28 % y el de S, como sulfato inmediatamente disponible para las plantas, es de 18,62 % (Straziscar y Melgar, 2003).

En cuanto al Sulfato de Amonio, el S está rápidamente disponible para la planta como sulfato. El N se libera en forma de amonio, en suelos bien drenados se produce rápidamente la nitrificación de los mismos, que son de inmediata disponibilidad para las plantas. Los sulfatos y los nitratos están sujetos a lavado (lixiviación). Este fertilizante resulta caro si se lo utiliza como fuente de N, pero puede ser una importante fuente de S para el cultivo. En altas dosis (sobre todo en suelos con baja capacidad buffer) genera una rápida acidificación del suelo. En suelos calcáreos o con pH elevados (salino-sódicos) resulta una fuente de azufre adecuada por su reacción ácida (Agrefert, 2006).

Scheiner *et al.* (1999) hacen referencia a la importancia del S para la producción de soja en la región pampeana. En ensayos de fertilización azufrada con el agregado de 10 kg ha⁻¹ de S, observaron un incremento del rendimiento de 200 kg ha⁻¹, tanto en Gral. Viamonte

(suelo con 52,4 ppm de sulfatos y 12 ppm de P) como en Junín (suelo con 41,9 ppm de sulfatos y 5 ppm de P).

Vivas (2004), en la zona de San Justo (Santa Fé), en un suelo con 12 ppm de P, 4 ppm de S-SO₄⁻, 2,54 % de MO y un pH de 6,1, trabajó con soja sembrada a 70 cm entre hileras y fertilizada con P (Superfosfato triple de Ca, P: 20 %) y S (Sulfato de Ca, S: 18 %) con dosis de 0, 15 y 30 kg ha⁻¹ de P y 0, 12, 24 y 36 kg ha⁻¹ de S. Con respecto al rendimiento, no observó interacción entre el S y P, como así tampoco efecto del P pero sí del S. El efecto del S fue creciente para todos los niveles de P evaluados, mostrando como el S pudo beneficiar a la soja aún cuando el nivel de P extractable del suelo no es el óptimo. En promedio, los aumentos de producción con 12, 24 y 36 kg S ha⁻¹ fueron de 786, 877 y 933 kg ha⁻¹, respectivamente.

Fontanetto *et al.* (2004), realizaron un ensayo en Videla (Santa Fe) en un suelo con más de 30 años de agricultura continua que tenía 9 ppm de P y 2 ppm de S-SO₄⁻, fertilizando con 10 kg S ha⁻¹ como Sulfato de Amonio, obtuvieron mejoras en la nodulación y en los rendimientos (20 %). Estos autores concluyeron que las aplicaciones de S provocan aumentos del rendimiento de soja en ambientes con menor capacidad de mineralización de MO edáfica, además constataron que la nodulación se asoció positivamente con los rendimientos de granos en respuesta a mejoras en la oferta de nutrientes (fertilización).

En un trabajo realizado por Kochaniuk *et al.* (2004), en un suelo de invernáculo, con 72 ppm de P, 0,67 ppm S-SO₄⁻ y 0,18 % de MO, observaron que la aplicación Sulfato de Ca (25; 30; 45 y 60 kg S ha⁻¹) y Óxido de Ca (17,75; 36; 54 y 72 kg Ca ha⁻¹) incrementó el tamaño de los nódulos pero no modificó la cantidad; de las dos fuentes utilizadas, el Sulfato de Ca fue el que tuvo mayor efecto, y con respecto a la dosis infirió que sería de 15 kg de S ha⁻¹.

Ferraris y Couretot (2005), en Wheelwright (Sta. Fé), en un suelo que tenía 2,41 % de MO, 11 ppm de P y 3,6 ppm de S-SO₄⁻, concluyó que la fertilización con Sulfato de Ca (15 kg S ha⁻¹) incrementó muy levemente el crecimiento y el nivel de cobertura del cultivo, además observó una coloración verde más oscura de las hojas, por lo que infirió una mayor tasa fotosintética. También, constataron un incremento promedio de 351 kg ha⁻¹ por efecto del fertilizante, lo cual significó una eficiencia agronómica media de 23,4 kg de grano por kg de S aplicado. Por otra parte, no observó diferencias entre la aplicación anticipada en superficie o incorporada a la siembra. Este comportamiento fue explicado a través de la movilidad del S en el suelo, favorecida por la ocurrencia de una lluvia pocos días después de la aplicación en superficie que permitió su rápida incorporación.

Rovera (2006), en Alcira Gigena (Cba.), en un suelo con 1,62 % de MO, 17,3 ppm de P y 15 de S observó que la aplicación de 7,20 kg S ha⁻¹ incrementó el peso de la materia seca de las hojas pero no de los otros órganos. Con respecto a los componentes

del rendimiento no detectó modificaciones en el número de semillas por superficie, pero sí incremento del peso de las mismas, con lo cual registró un incremento del rendimiento de 463 kg ha⁻¹ (17,7 % mayor que el testigo).

Calidad de la semilla

La soja es un cultivo de fecundación autógama lo que les permite a los productores almacenar sus semillas para la siembra de la próxima campaña. La calidad de las semillas para la siembra influencia el establecimiento, pues puede afectar el stand de plantas, la uniformidad, y el desarrollo; esto puede ocasionar menores rendimientos. Además, la utilización de semillas de baja calidad disminuye los ingresos pues aumenta los costos de implantación¹.

Un lote de semillas de alta calidad debe tener pureza genética y física, alto porcentaje de germinación –en general se considera 90%- y alto vigor -que las plántulas emergen en un amplio rango de condiciones de la cama de siembra- (Roberts y Ellis, 1980).

El control de calidad de un lote de semillas se realiza a través del test patrón de germinación (TPG) pero este no es suficiente para evaluarlos, por lo cual fueron desarrolladas metodologías conocidas genéricamente como test de vigor que tienden a complementar la información sobre el potencial de las semillas. Estos test de vigor procuran, principalmente, identificar diferencias en la calidad fisiológicas de lotes que presentan poder germinativo semejante. De esta forma, permiten clasificarlos en diferentes niveles de vigor, ofreciendo información para estimar el comportamiento de las semillas durante el período de almacenamiento o en la siembra¹.

La germinación y el vigor de un lote de semillas pueden ser modificados por las condiciones ambientales durante el desarrollo de las mismas, entre ellos la nutrición de la planta madre¹.

Por un lado, los factores que afectan la fotosíntesis y reducen la producción de fotoasimilados durante el llenado de las semillas pueden afectar negativamente el vigor de las mismas (Bewley y Black, 1994). Algunos nutrientes, entre ellos el N y el S tienen una relación directa con estos procesos (Mengel y Kirkby, 2000). Estos dos nutrientes son removilizados hacia las semillas al finalizar el ciclo del cultivo por lo cual ante deficiencias podrían afectar el almacenamiento de proteínas, pues forman parte de varias de ellas (Wilcox y Shibles, 2001). Las proteínas son macromoléculas nitrogenadas que tienen diferentes funciones (síntesis de nuevas proteínas y amino ácidos, y energía) durante la germinación (Marcos F^o, 2005), por lo cual la deficiencia de este nutriente se podría manifestar a través de alteraciones en el desarrollo de plántulas. En la bibliografía

¹ Fernandez, E.M. 2005. Calidad de semillas: girasol, soja y maní. FAV – UNRC.

disponible, no se han encontrado referencia a la deficiencia de estos nutrientes sobre la calidad fisiológica.

Considerando las funciones de algunos nutrientes se podría inferir que la deficiencia de los mismos provocará malformaciones en las estructuras de las semillas que afectarán el proceso de germinación. En soja, se ha observado que la deficiencia de Ca no reduce la germinación (Burton *et al.*, 2000) pero puede disminuir el PS de las plántulas (Keiser y Mullen, 1993), ocasionando un menor porcentaje de plántulas vigorosas (Burton *et al.*, 2000). Este efecto puede estar asociado a su rol en la estructura de los tejidos por formar parte de las paredes celulares (Fry, 1986). También la alta relación B/Ca, por la baja disponibilidad de Ca, provoca alteraciones en el desarrollo de las plántulas (Keiser y Mullen, 1993).

Se podría considerar que este conjunto de factores afectan la calidad de las semillas, pero se ha constatado que las plantas expuestas a condiciones de deficiencia nutricional pueden presentar mecanismos de compensación frente a adversidades ambientales, a través del cual se reduce la cantidad pero no la calidad de las semillas (Marcos F°, 2005).

Hipótesis

La fertilización azufrada aumenta los rendimientos en el cultivo de soja cuando se realiza agricultura continua.

Objetivos

Generales:

- Evaluar la respuesta del cultivo de soja a la fertilización azufrada en un sistema de agricultura continua en la región de Corral de Bustos - Córdoba.
- Evaluar fuentes y dosis de azufre para la fertilización del cultivo de soja.

Específicos

- Evaluar etapas fenológicas.
- Evaluar materia seca en las etapas R5 y R7.
- Evaluar contenido de S y N en hojas R1.
- Evaluar nodulación en R5.
- Evaluar componentes del rendimiento.
- Evaluar la calidad fisiológica de las semillas.
- Evaluar el Margen Bruto de cada una de las fuentes y dosis de azufre.

Materiales y Métodos

Caracterización del lugar del ensayo: El ensayo se realizó a 28 km suroeste de la ciudad de Corral de Bustos, departamento Marcos Juárez, provincia de Córdoba, en el establecimiento agrícola del Sr. José Ángel Buffa.

El tipo de suelo es un Hapludol típico, Serie La Bélgica (Latitud 33° 11', Longitud 62° 31' y Altitud 117 msnm). El régimen hídrico del lugar es de aproximadamente 900 mm anuales, con una distribución de tipo monzónico (INTA, 1986).

El historial del lote en los últimos años es el siguiente: En el año 2001- 2002 maíz, 2002-2003 soja, 2003-2004 soja y la última campaña 2004-2005 maíz.

El ensayo se realizó con soja, cultivar Don Mario 3700. Se sembró el 3 de noviembre del 2005. Se colocaron 19 semillas por metro lineal a una distancia entre surco de 0,525 m, lo que dio una densidad de siembra de 360.000 semillas ha⁻¹.

La fertilización se realizó al voleo al momento de la siembra.

Diseño utilizado: En bloques con parcela dividida, con 5 repeticiones. El bloque fue el tipo de fertilizante, con 2 niveles: Sulfato de Ca y Sulfato de Amonio. El tratamiento fue la dosis de S, con dos niveles; una de 20 kg de S ha⁻¹ (total de la extracción del cultivo considerando un rendimiento de 4000 kg ha⁻¹)² según García (1999), y la otra de 10 kg de S ha⁻¹, para cubrir la mitad de la extracción del cultivo, estimando que la otra mitad será suplida por el suelo. A continuación se detallan las combinaciones:

- **T1:** Fertilizado con 55,5 kg de Sulfato de Calcio (18 % S y 23 % Ca).
- **T2:** Fertilizado con 111,0 kg de Sulfato de Calcio (18 % S y 23 % Ca).
- **T3:** Fertilizado con 87,0 kg de Sulfato de Amonio (23 % S y 21 % N).
- **T4:** Fertilizado con 43,5 kg de Sulfato de Amonio (23 % S y 21 % N).
- **T5:** Testigo sin fertilización azufrada.

El ancho de cada parcela (cada uno de los tratamientos) fue de 25 m y el largo de 450 m lo que da una superficie de la misma de 11,250 m² (1,125 ha).

Tareas llevadas a cabo para el normal desarrollo del cultivo:

20-6-05 Aplicación de 2,5 l ha⁻¹ de Glifosato + 350 cc ha⁻¹ de 2,4D + 5 gr ha⁻¹ de Metsulfuron metil.

28-10-05 Aplicación de 2,5 l ha⁻¹ Glifosato + 250 cc ha⁻¹ de 2,4D + 100 cc ha⁻¹ Cipermetrina.

03-11-05 Inoculación y aplicación de funguicidas en las semillas.

29-11-05 Aplicación de 2,5 l ha⁻¹ Glifosato + 50 cc ha⁻¹ Cipermetrina.

² Rendimiento promedios obtenido en los últimos años en el establecimiento.

26-12-05 Pulverizado con 2,250 l ha⁻¹ Glifosato.

Observaciones y mediciones:

Las precipitaciones fueron medidas antes y durante el ciclo del cultivo (Fig. 1). El total de lluvias ocurridas antes de realizar la siembra del cultivo fue de 200 mm y las ocurridas durante el ciclo del mismo fueron de 365 mm. Las lluvias se encontraron por debajo de la media anual (900 mm); ya que en estos 9 meses sólo llovieron 565 mm, periodo en el que normalmente llueve el 80 % de la media anual (720 mm).

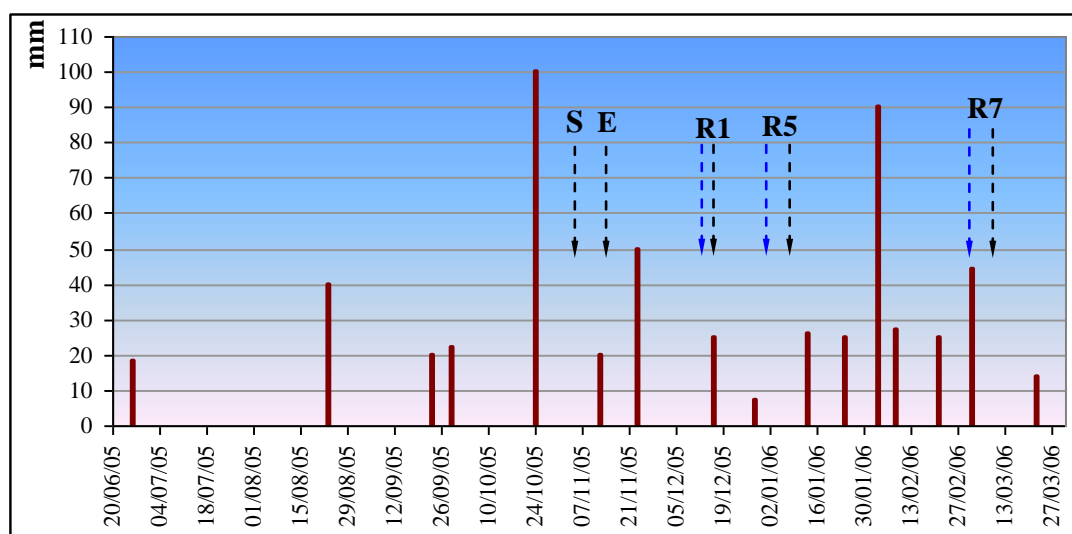


Figura 1: Precipitaciones ocurridas antes y durante el ciclo del cultivo, en el periodo 2005-2006.

Referencia: S: siembra; E: emergencia; R1: comienzo de floración; R5: comienzo llenado de granos; R7: madurez fisiológica. **Flechas negras:** parcelas fertilizadas. **Flechas azules:** testigo.

Suelo:

Se realizó, previo a la siembra, un análisis de suelo el cual arrojó los siguientes resultados:

Materia orgánica: 2,39 %; pH: 6,43 (ligeramente ácido); conductividad eléctrica: 0,250 dS m⁻¹; N-NO₃⁻: 13,9 ppm; P: 6,9 ppm; S-SO₄⁼: 10 ppm.

Cultivo: Se tomaron 5 muestras por tratamiento.

En el ciclo:

➤ Número de plantas emergidas ha⁻¹

11-11-05 **Emergencia:** se contó el número de plantas en un m², con 5 repeticiones.

➤ Tiempo a cubrir el surco

02-01-06 **Cubrieron el surco** las parcelas fertilizadas, no habiendo diferencias entre ellas, mientras que la parcela testigo lo produjo el 05-01-06.

➤ Contenido de S y N en hojas:

08-01-06 **R1** Se realizó un muestreo para hacer análisis del contenido de S y N en las hojas según Malavolta *et al.* (1989). En este momento se observaron diferencia entre los tratamientos en el color de las hojas, en las parcelas fertilizadas el color verde era más oscuro que las del testigo.

➤ Materia seca por planta:

28-01-06 **R5** Muestreo para evaluar la materia seca de la parte aérea (por órgano). En esta fecha las plantas del la parcela testigo se encontraban fenológicamente más avanzadas que las fertilizadas.

➤ Nodulación:

En R5 se determinó el número y el peso de los nódulos, para lo cual se descalzaron plantas en una superficie de $\frac{1}{4}$ m² por parcela. Las plantas fueron lavadas con agua y se retiraron los nódulos, luego los mismos se colocaron en estufa a 60 °C hasta peso constante.

11-03-06 **R7** Muestreo para evaluar la materia seca de la parte aérea (por órgano).

Cosecha: 25/3/2006

➤ Componentes de rendimientos:

24-3-06 Recuento de plantas, previo a la cosecha, del número de frutos por plantas y de semillas por frutos, con los que se estimó el rendimiento.

Durante la cosecha, el autodescargable poseía una balanza electrónica y por medio de los kg obtenidos en cada parcela junto a la superficie de la misma se obtuvo directamente el rendimiento de cada tratamiento.

09-06-06 Evaluación de la calidad fisiológica de las semillas realizando el Test patrón de germinación (TPG) (ISTA, 2003), Test de envejecimiento acelerado (TEA) y el Test de frío (TF) (Hampton y TeKrony, 1995).

20-12-06 Análisis de MB (margen bruto) según tratamientos a través de la metodología propuesta por la Cátedra de Administración Rural.

Análisis de datos

Los datos fueron analizados con ANOVA y las medias comparadas con el test de Duncan (P = 0.05), utilizando el programa INFOSTAT, versión 2005p1 (2006).

Resultados y Discusión

El número de plantas por superficie es uno de los componentes del rendimiento que comienza a definirse al momento de la siembra pues durante el ciclo pueden producirse reducciones debido a factores bióticos y/o abióticos, tales como plagas, granizo, entre otros. Este hecho, no se observó en esta experiencia ya que el número de plantas emergidas se mantuvo prácticamente constante hasta el momento de la cosecha.

En este estudio se observaron, a la siembra, 30 plantas emergidas por m² en las parcelas que se aplicó Sulfato de Ca y en el testigo, mientras que en las que se aplicó Sulfato de Amonio había 29 plantas emergidas por m², lo que daría un total de 300.000 y 290.000 pl ha⁻¹, respectivamente. Estos valores representan un 85 % de emergencia, mientras que el resultado del test de germinación, previo a la siembra, fue de 90 %.

A cosecha (Fig. 2 y Cuadro 7 del Anexo), el número de plantas fue mayor con la aplicación de 10 kg ha⁻¹ de S como Sulfato de Ca y menor con la fertilización con 20 kg ha⁻¹ de S como Sulfato de Amonio.

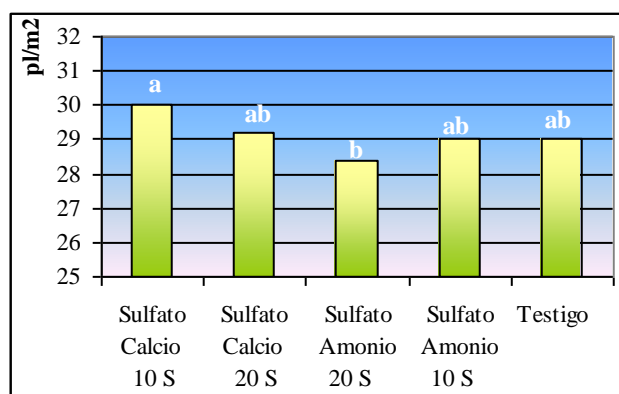


Figura 2: Número de plantas a cosecha según tratamiento.

Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Se podría inferir que el incremento de la dosis de S reduciría el número de plantas, pero se está involucrando en la comparación a diferentes compuestos, es por esto que se los analizó en forma separada. Se observó (Fig. 3 y Cuadro 8 del Anexo) que el fertilizante que posee N (Sulfato de Amonio) produjo una reducción de las plantas comparativamente con el que no tiene N (Sulfato de Ca). Este efecto podría deberse al aumento del pH debido al amoníaco liberado al suelo al producirse la hidrólisis de los fertilizantes nitrogenados como fue planteado por Vivas y Seffino (2006). Ellos constataron que en situaciones extremas el pH puede llegar a 9, como por ejemplo en la disolución de la urea. Estos aumentos de pH pueden favorecer la disponibilidad de ciertos micronutrientes (Mo, Na⁺ y Cl⁻) que producen toxicidad. Aunque en esta experiencia estos efectos pueden haber sido disminuidos ya que la aplicación del fertilizante fue realizada al voleo, y según Martínez (1999) este método es menos agresivo (menor reducción del número de plantas) que la fertilización en la línea de

siembra, pues de esta forma no sólo se afecta la emergencia sino también a las bacterias del inoculante. También, Melgar y Gearhart Honeywell (2003), citan que algunos tipos de fertilizantes a base de sulfatos aplicados en la línea de siembra pueden producir daños en la germinación, principalmente por el efecto salino, en especial los fertilizantes que contengan N, ya que se agrega la potencial emisión de amoníaco. El azufre de otras fuentes de baja solubilidad, como el Sulfato de Ca o el azufre elemental, no presentan este problema.

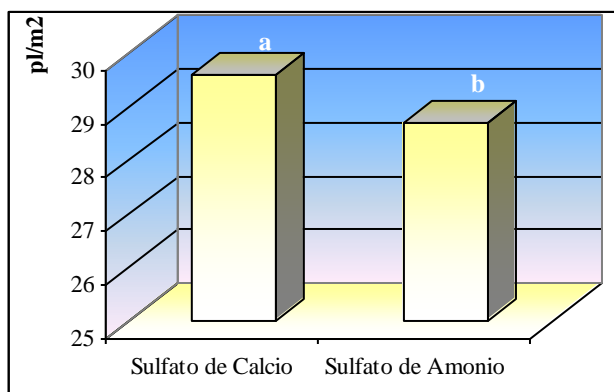


Figura 3: Número de plantas a cosecha según fertilizante. Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Análisis de hoja en R1

El análisis foliar constituye una herramienta de gran utilidad en el diagnóstico de la deficiencia de nutrientes, especialmente los “no convencionales” (que no sean N y P). Éste debe ser considerado como una herramienta de monitoreo, que permite saber si la nutrición del cultivo fue adecuada y si se debe planificar cambios en el sistema de manejo para próximos cultivos (Gracia, 1999). Además, para el caso del S en el que no está claro las formas de determinación (Tomé, 1997), se ha propuesto la estimación de la cantidad de S durante el ciclo del cultivo a través de la concentración del mismo en la parte aérea en los primeros estadios de crecimiento (Hitsuda *et al.*, 2005).

Cuadro 3: Análisis de hoja en R1 según tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>% N</i>	<i>% S</i>	<i>N:S</i>
Sulfato de Calcio 10 S	6,07	0,28	21,67
Sulfato de Calcio 20 S	6,35	0,30	21,16
Sulfato de Amonio 10 S	6,50	0,26	25,00
Sulfato de Amonio 20 S	6,63	0,28	23,67
Testigo	6,13	0,26	23,57

En esta experiencia se realizó el análisis foliar en R1 (Cuadro 3). Con respecto al S, se puede inferir de los resultados que el Sulfato de Ca produjo un aumento del porcentaje de S a iguales dosis que el Sulfato de Amonio, deduciendo que el Sulfato de Ca favoreció la absorción de este nutriente. En cuanto al N, se puede observar que hay mayor concentración en las plantas de las parcelas con Sulfato de Amonio. Esto indicaría que fueron más

eficientes en absorber el N del suelo que por medio de la fijación biológica de nitrógeno (FBN). La relación N:S fue modificada por el tipo de fertilizante utilizado; el Sulfato de Ca disminuyó la relación mientras que el Sulfato de Amonio la incrementó con respecto al testigo. Esta relación de N:S es algo inferior a los valores propuestos por Dijkshoorn y Wijk (1967) para las leguminosas (30:1).

Estadio fenológico R5 (28/1/06)

El estado R5 se define cuando se encuentra una vaina con una semilla de 3 mm de largo, en uno de los cuatro nudos superiores, con hojas totalmente desplegadas (Fehr y Cavines, 1977). A partir de este estadio, se inicia el crecimiento rápido de las semillas, o llenado de granos, y la redistribución de los nutrientes a las semillas. En R5, en la planta (principalmente en las de crecimiento indeterminado) se pueden encontrar diferentes órganos reproductivos que varía desde flores recién abiertas a vainas conteniendo semillas de 8 mm de largo. En este estadio la planta alcanza su máxima altura y área foliar, y se producen las mayores tasas de FBN (Giorda y Baigorri, 1997).

Nodulación

La soja puede llegar a acumular, por el mecanismo de FBN, aproximadamente un 50 % del total del N absorbido (González, 1996). Ésta es más eficiente con niveles bajos de disponibilidad del nutriente en el suelo (Darwich, 1999). La fertilización azufrada favorece la nodulación (Tisdale *et al.*, 1993; Fernandez Caniggia, 2003), hecho que no se observó en esta experiencia (Fig. 4 y Cuadro 1 del Anexo), debido a que los tratamientos fertilizados no presentaron diferencias estadísticas con el testigo. Se observó una marcada reducción en el número de nódulos en las parcelas en las que se les agregó N (como Sulfato de Amonio), siendo más marcada esa reducción a medida que aumentaba la dosis del mismo (Fig. 5 y Cuadro 7 del Anexo), por lo que se pone de manifiesto el efecto depresor del N en la nodulación, coincidiendo con Gutiérrez y Scheiner (2003) y Peticari (2006).

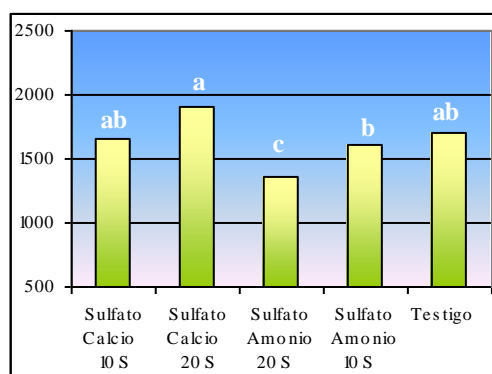


Figura 4: Número de nódulos según tratamientos con S (n°/m²).

Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

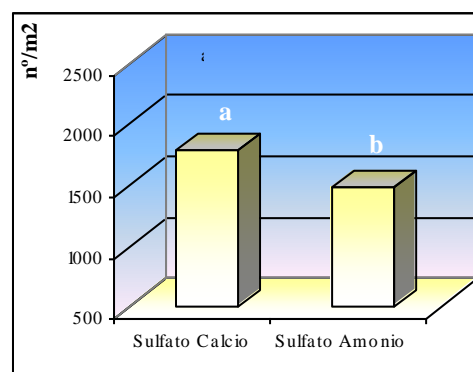


Figura 5: Número de nódulos según fertilizante con S.

Como indicadora de la FBN, el número de nódulos tiene menos importancia que su peso seco. En esta experiencia se observó una gran diferencia en el peso de los nódulos entre los tratamientos (Fig. 6 y Cuadro 1 del Anexo); las plantas que crecieron con mayor dosis de Sulfato de Amonio tuvieron una gran reducción comparadas con las plantas de los demás tratamientos, especialmente con las que se les aplicó Sulfato de Ca. Esto evidencia que el N no sólo deprime el número de nódulos sino también el peso de los mismos, aunque esa reducción se puede relacionar al menor número (Fig. 4). Por otra parte se observa claramente que el Ca tiene efecto positivo en el peso de los mismos (Fig. 6 y 7 y Cuadro 2 del Anexo), ya que a mayor dosis de este nutriente mayor es el peso comparado con el testigo, esta variación no se debe al menor número de nódulos de la parcela testigo ya que el mismo era similar (Fig. 4), coincidiendo con Kochaniuk *et al.* (2004), quien observó un mayor efecto de este nutriente sobre el peso que en el número de nódulos.

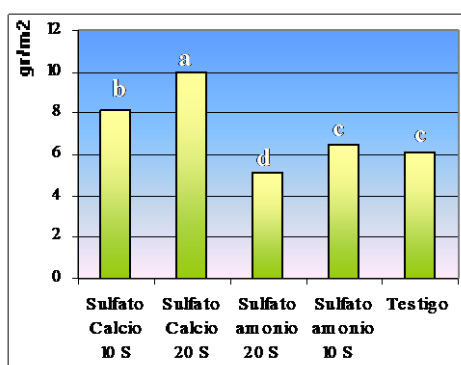


Figura 6: Peso de los nódulos según tratamientos con S.

Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

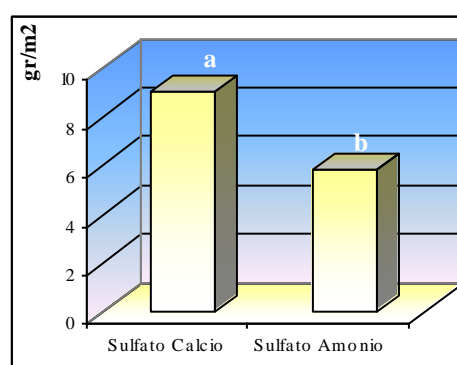


Figura 7: Peso seco de nódulos según fertilizante.

La menor nodulación hace inferir una menor FBN, hecho que no se tradujo en la acumulación de N en la biomasa aérea (Cuadro 3), debido a que las plantas de estas parcelas tuvieron mayor disponibilidad de N en el suelo y según Fernandez Caniggia (2003) la absorción de N directamente del suelo es energéticamente menos costosa para la planta que la FBN.

Materia Seca

La acumulación de materia seca en R5 está relacionada directamente con el rendimiento (Xiaobing *et al.*, 2005). En esta experiencia, en donde se utilizó un cultivar ciclo III largo (DM 3700), se observó que el peso seco (PS) de las hojas (Fig. 8 y Cuadro 1 del Anexo) fue mayor en las parcelas fertilizadas con Sulfato de Ca, pero las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Es necesario aclarar que el muestreo se realizó en la misma fecha (28/1/2006) en todas las parcelas pero las plantas no se encontraban en el mismo estado fenológico; las fertilizadas estaban en R5 y el testigo en R5.5, a esta diferencia se le puede atribuir el alto PS de hojas de esta última.

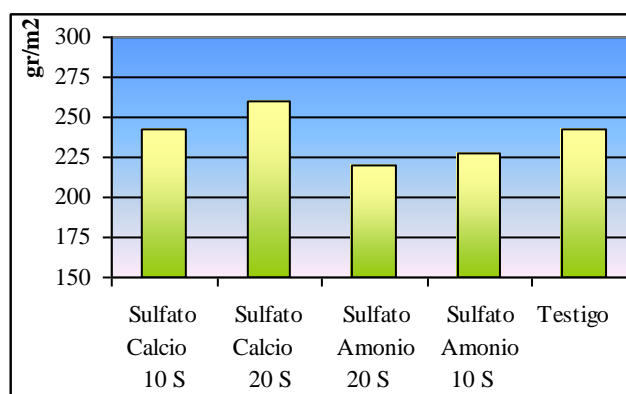


Figura 8: Peso seco de las hojas según tratamientos.

En el PS de hojas, a pesar de no haber diferencias estadísticas entre los tratamientos, sí se observaron entre fertilizantes (Fig. 9 y Cuadro 2 del Anexo); en donde el Sulfato de Ca incrementó un 12 % el PS comparativamente con el Sulfato de Amonio. Esto puede deberse al Ca -aportado por el Sulfato de Ca-, debido a las funciones metabólicas de este nutriente en la planta (Mengel y Kirkby, 2000).

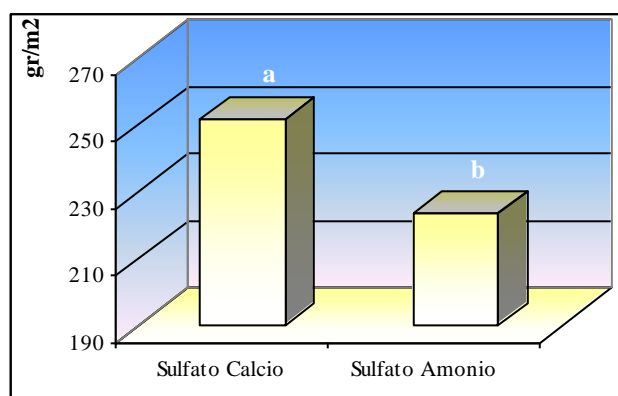


Figura 9: Peso seco de las hojas según fertilizante.

Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Un aspecto importante para destacar es que en el estadio R5 las hojas de las plantas de las parcelas fertilizadas tenían una coloración más oscura, con respecto al testigo (Foto 1). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Ferraris y Couretot (2005). Esta reducción en la intensidad de la coloración verde de las plantas del testigo puede haber sido debida a algunos efectos del S en el metabolismo de la planta, tales como la formación de la clorofila y/o su efecto sobre la nodulación (Tisdale *et al.*, 1993). Además, según Ferraris y Couretot (2005), la coloración verde más oscura de las hojas pone en evidencia una mayor tasa fotosintética.



Foto 1: Diferencia de color de los folíolos de las hojas de las parcelas fertilizadas con S y el testigo.

Cuando se analizó el PS de las ramas y de los tallos (Fig. 10 y 11, respectivamente y Cuadro 1 del Anexo) no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos. Con estos resultados se puede concluir que el suelo contenía los niveles necesarios para su formación. Se observa un mejor comportamiento con 20 kg de S ha⁻¹ como Sulfato de Ca.

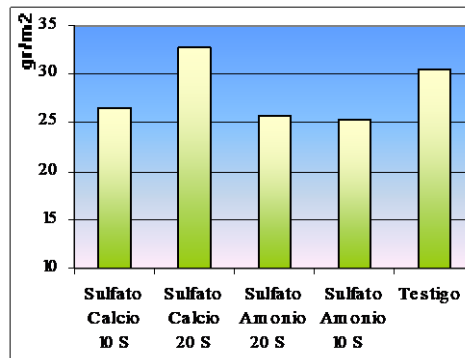


Figura 10: PS de ramas en R5 según tratamiento.

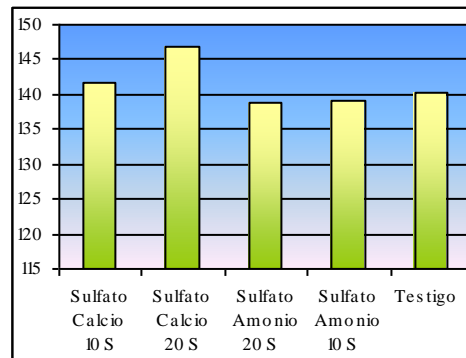


Figura 11: PS de tallos en R5 según tratamiento.

Con respecto al PS de los frutos (Fig. 12 y Cuadro 1 del Anexo), en este estadio se observaron diferencias estadísticas entre la parcela con 20 kg ha⁻¹ de S como Sulfato de Ca con respecto a las parcelas con 10 kg ha⁻¹ de S, independientemente del fertilizante utilizado. Es necesario volver a aclarar que las plantas de la parcela testigo estaban en un estado de desarrollo más avanzado que las fertilizadas.

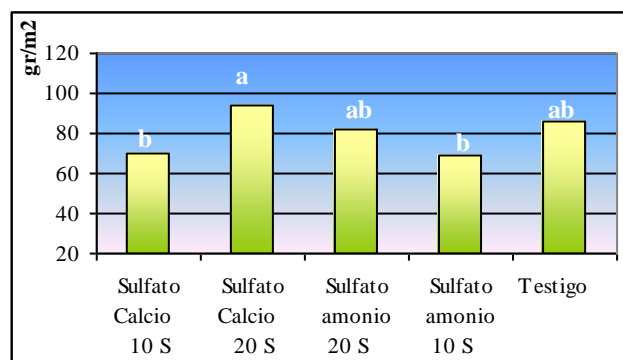


Figura 12: Peso seco frutos en R5 según tratamiento. Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan

De la Figura 12 se podría inferir que el PS de los frutos tiene relación tanto con la dosis de S como con el fertilizante utilizado, debido este motivo se los evaluó separadamente.

Con respecto a la dosis de S (Fig. 13 y Cuadro 3 del Anexo) se observaron diferencias estadísticas, evidenciándose un incremento del PS de los frutos con el aumento de la dosis de S. Esto comprueba que el S es un nutriente importante en este componente, coincidiendo con Ferraris y Couretot (2005), quienes citan que las parcelas fertilizadas con S mejoran la eficiencia de conversión.

En cuanto a la influencia de cada fertilizante sobre el PS de los frutos (Fig. 14 y Cuadro 2 del Anexo) no se encontraron diferencias estadísticas entre los mismos, pero sí se puede observar una tendencia, en donde el Sulfato de Ca tiene un mayor efecto en este componente que el Sulfato de Amonio.

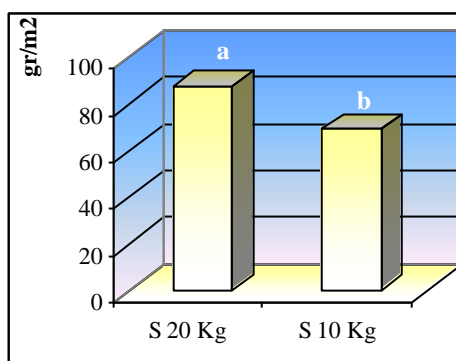


Figura 13: Peso seco frutos según dosis de S.

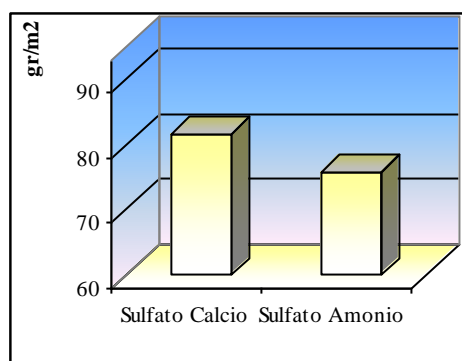


Figura 14: Peso seco de frutos según fertilizante con S.

Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan

Estadio fenológico R7 (11/03/06)

Materia seca

El estado fenológico R7 se lo caracteriza cuando una vaina normal en cualquier nudo del tallo principal ha alcanzado su color de madurez (Fehr y Cavines, 1977). Se considera que una semilla ha logrado la madurez fisiológica cuando cesa su acumulación de materia seca. Esto se produce cuando las semillas (y generalmente las vainas) se tornan amarilla, perdiendo totalmente el color verde. A pesar de que en R7 no todas las vainas han perdido el color verde, hay muy poca acumulación de materia seca adicional (Giorda y Baigorri, 1997).

En esta experiencia el PS de hojas en este estadio (Fig. 15 y Cuadro 4 del Anexo) no presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, contradiciendo con lo observado por Rovera (2006). Se evidencia el efecto del adelanto en el estado de desarrollo del testigo,

ya que las plantas habían comenzado a perder las hojas por la movilización de nutrientes a las semillas, por ende es menor su peso comparado con las demás parcelas.

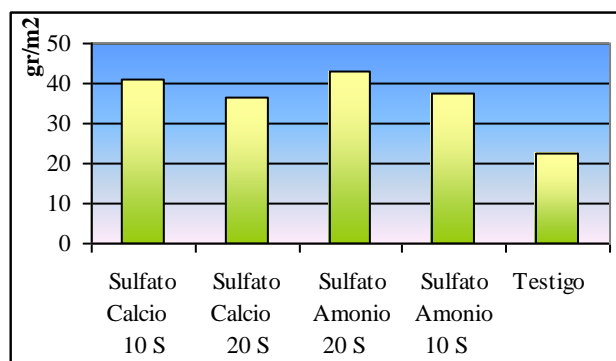


Figura 15: Peso seco de hojas según tratamiento con S.

Considerando solo las parcelas fertilizadas, se observa que los valores son muy semejantes, por eso se evaluó la influencia de los mismos en forma separada (Fig. 16 y Cuadro 5 del Anexo); no observándose diferencias, pero sí que el Sulfato de Amonio incrementó levemente el peso de las hojas comparado con el Sulfato de Ca, y este efecto fue inverso a lo observado en R5 (Fig. 9).

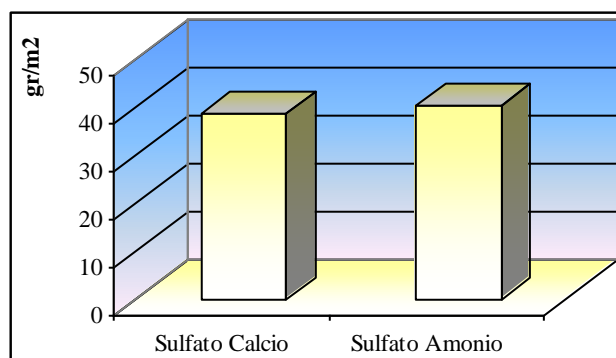


Figura 16: Peso seco de hojas según fertilizante.

Esto evidencia que las plantas de las parcelas con Sulfato de Amonio tuvieron un mayor crecimiento en el período R5-R7. Esto puede deberse a que el cultivo en este período tiene altas demandas de N y la FBN disminuye en forma importante durante el llenado de granos (Scheiner *et al.*, 1999), por ende la disponibilidad de N fue mayor en las parcelas que tuvieron aportes externos del mismo (Sulfato de Amonio).

En la Figura 17 y en el Cuadro 4 del Anexo no se observan diferencias estadísticas entre los tratamientos en cuanto al PS de las ramas, pero si se puede ver que hay una tendencia a disminuir el peso con Sulfato de Amonio; siguiendo la tendencia observada en R5 (Fig. 10). La dosis de S no influyó el PS de las ramas (Cuadro 6 del Anexo).

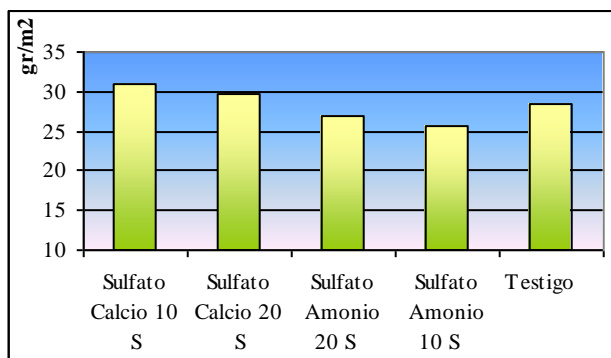


Figura 17: Peso seco de ramas en R7 según tratamiento.

No se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos en cuanto al PS de los tallos (Fig. 19 y Cuadro 4 del Anexo). A igual que en R5 (Fig. 11), hubo una relación positiva entre la dosis de Sulfato de Ca y el peso, esto puede ser debido a sus funciones metabólicas (Mengel y Kirkby, 2000).

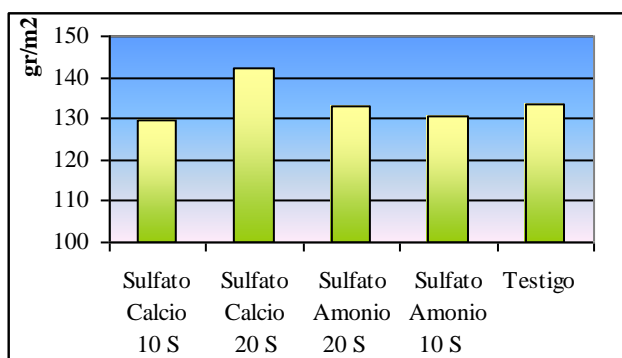


Figura 18: Peso seco de los tallos según el tratamiento.

Cuando se evaluó el PS de los tallos según la dosis de S (Fig. 19 y Cuadro 6 del Anexo) se observó una tendencia positiva entre la dosis de S y el PS de los tallos (7 % mayor), esto puede ser debido a que el S promueve el crecimiento de las plantas (Ferraris y Couretot, 2005).

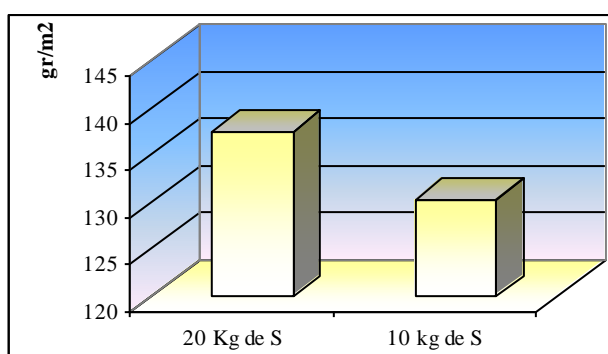


Figura 19: Peso seco de los tallos según dosis de S.

En cuanto al PS de los frutos (Fig. 20 y Cuadro 4 del Anexo), no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, pero hubo una tendencia bien manifiesta entre ellos. Las plantas de la parcela con 20 kg ha⁻¹ de S como sulfato de Ca fueron 16 % superiores al testigo y con éste fertilizante a esa dosis de S se alcanzó el mayor peso, infiriéndose una relación del Ca con este componente.

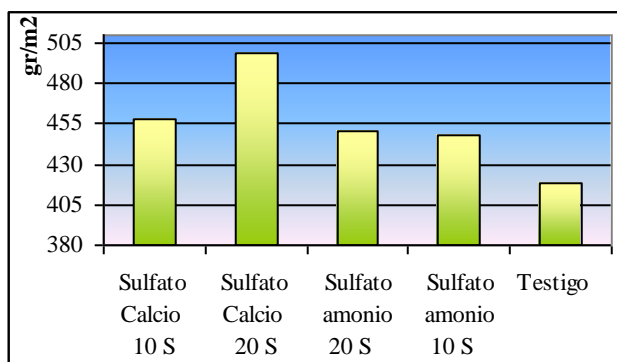


Figura 20: PS de los frutos según tratamiento en R7.

Lo observado en la Fig 20 es de relevancia ya que a partir de este estadio la semilla acumula muy pocos asimilados, por lo que es importante llegar al mismo con el mayor peso posible con el objetivo de aumentar los rendimientos (Giorda y Baigorri, 1997).

Para comprobar el efecto positivo del Sulfato de Ca sobre el PS de los frutos (Fig. 20) se evaluaron los fertilizantes en forma separada (Fig. 21 y Cuadro 5 del Anexo) y no se observaron diferencias estadísticas entre los mismos, pero quedó manifiesta la tendencia de incrementar el peso (7 %) con el fertilizante que posee Ca como acompañante. También se observó (Fig. 22 y Cuadro 6 del Anexo) que con la mayor dosis de S (20 kg ha⁻¹) aumentó el peso (5 %) de manera no significativa.

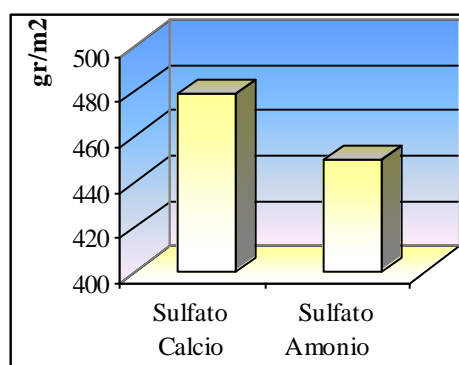


Figura 21: PS de los frutos según fertilizante.

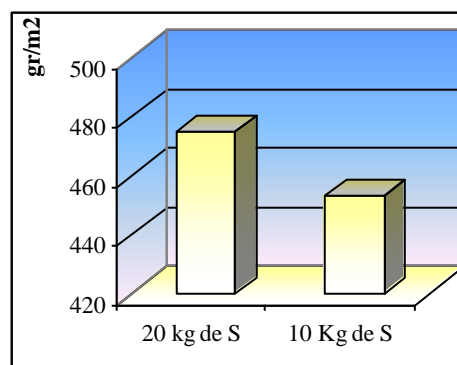


Figura 22: Peso seco de los frutos según dosis de S.

Biomasa

Cuando analizamos la evolución de la biomasa en el período R5- R7 (Fig. 23), observamos diferencia en el efecto de los fertilizantes.

El Sulfato de Amonio provocó un crecimiento más acelerado de las plantas de estas parcelas comparado con las de los demás tratamientos ya que en R5 tenían la menor biomasa acumulada (< 7 % que el testigo; < 13 % que Sulfato de Ca). En cambio en R7 los valores fueron superiores al testigo (7 %) y cercanos a las con Sulfato de Ca, posiblemente debido entre la demanda del cultivo después de R5 y la FBN (Scheiner *et al.*, 1999), entonces las parcelas fertilizadas con N tuvieron mayor disponibilidad de este nutriente para su absorción.

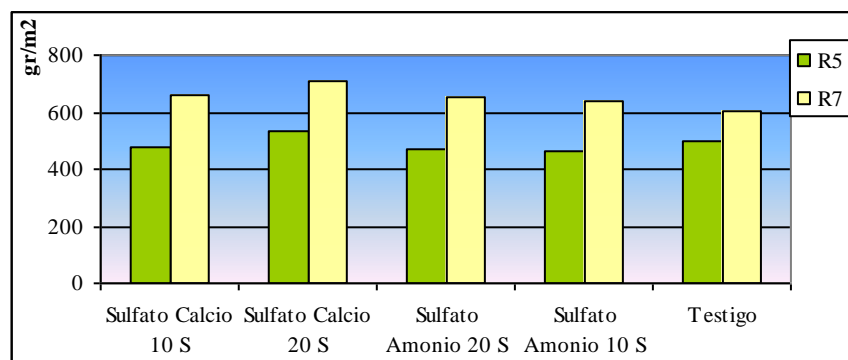


Figura 23: Biomasa en los estadios R5 y R7 según tratamientos.

También se observó que la fertilización con S incrementó la biomasa acumulada al finalizar el ciclo del cultivo (Fig. 23; Foto 2). Estos resultados coinciden con los del ensayo llevado a cabo por Ferraris y Couretot (2005) en un suelo con menor contenido de P (11 ppm) y $S-SO_4^-$ (3,6 ppm) que los de esta experiencia. Las plantas del testigo tuvieron un menor periodo de crecimiento, lo que puede haber influenciado la acumulación de biomasa y/o al efecto del S sobre la formación de clorofila (Tisdale *et al.*, 1993).

La menor biomasa acumulada en R7, en la parcela testigo, podría explicar el menor peso de los frutos (Fig. 20), ya que hay una menor fuente de fotoasimilados para su redistribución hacia los frutos y semillas.

En la Foto 2, cada una de las plantas representa los tratamientos planteados en la experiencia.



Foto 2: Altura de las plantas según tratamiento.

De derecha a izquierda vemos: *planta 1* corresponde a la parcela testigo, *la planta 2* a la parcela con 10 kg de S ha⁻¹ como Sulfato de Amonio, *la planta 3* (la que tiene la botella)

a la parcela con 20 kg de S ha⁻¹ como Sulfato de Amonio, la *planta 4* a la parcela con 20 kg de S ha⁻¹ como Sulfato de Ca y la *planta 5* a la parcela con 10 kg de S ha⁻¹ como Sulfato de Ca. Se puede ver con claridad como la planta testigo tiene menor desarrollo que las demás plantas que representan las parcelas fertilizadas.

Partición de fotoasimilados y nutrientes en R5 y R7

La distribución de asimilados entre las distintas partes de la plantas se las denomina partición. Los asimilados producidos por los tejidos fotosintéticos son transportados a otras partes del vegetal, donde son utilizados para los distintos procesos dependiendo del estado fenológico que se encuentra el cultivo; en la etapa vegetativa son utilizados para el crecimiento radical y la parte aérea, en la etapa reproductiva los destinos principales son las flores, frutos y semillas. Hay una relación directa entre la proporción de asimilados hacia las semillas y el rendimiento del cultivo (Giorda y Baigorri, 1997).

En esta experiencia la partición hacia las estructuras reproductivas (frutos y semillas según estado fenológico) en los estadios R5 y R7 no fue modificado por la fertilización (Fig. 24).

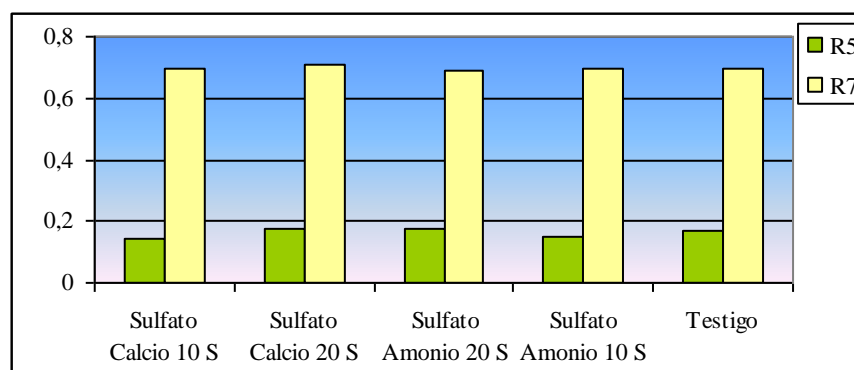


Figura 24: Partición hacia estructuras reproductivas según tratamiento.

Componentes de rendimiento

El rendimiento de la soja, como el de otros cultivos de grano, resulta de dos componentes principales que no son plenamente independientes entre sí: el número de granos que se establecen por unidad de área y el peso unitario que alcanzan los mismos. El número de granos puede subdividirse, a su vez, en varios subcomponentes (Nº de nudos pl⁻¹, Nº de vainas nudo⁻¹, Nº de granos vaina⁻¹ y Nº de pl m⁻²). Estos representan la cantidad de sitios potenciales para el establecimiento de los granos (número de nudos por unidad de área del cultivo), la fertilidad de estos sitios (Nº de vainas por nudo) y de los frutos (Nº de granos por vaina) (Kantolic *et al.*, 2003).

En esta experiencia se evaluaron los componentes del rendimiento, tales como el número de plantas por superficie, frutos por planta, semillas por frutos y peso de las mismas.

Uno de los componentes indirectos del rendimiento es el número de frutos por plantas, que está definido por los nudos por plantas y el número de frutos por nudo (Kantolic *et al.*, 2003). El primero de los ellos se define desde la emergencia hasta poco después de floración; la cantidad de recursos (agua, luz y nutriente) disponibles y las prácticas de manejo (fecha de siembra, densidad, etc.) -que modifican su disponibilidad o su oportunidad de utilización- tienen una marcada influencia sobre este componente. El otro, es el resultado de los fenómenos de generación y mortandad de los frutos, la soja produce muchos más primordios florales de los que puede fijar; si bien las causas del aborto no están bien definidas, se sabe que la disminución del flujo diario de asimilados desde las hojas hacia los órganos reproductivos es una de las causas de mortandad de flores y de frutos jóvenes.

En esta experiencia, cuando se evaluó el número de frutos planta⁻¹ (Fig. 25 y Cuadro 7 del Anexo), no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos, por lo que se puede inferir que los nutrientes agregados como fertilizante en esta experiencia no fueron determinantes en el desarrollo de estos órganos o que los contenidos en el suelo eran suficientes para definir este componente del rendimiento. La mayor diferencia (8 %) se observó entre las parcelas con Sulfato de Ca (20 y 10 kg de S ha⁻¹), pues Kantolic *et al.* (2003), sugieren que no son los nutrientes el principal factor que modifica este componente.

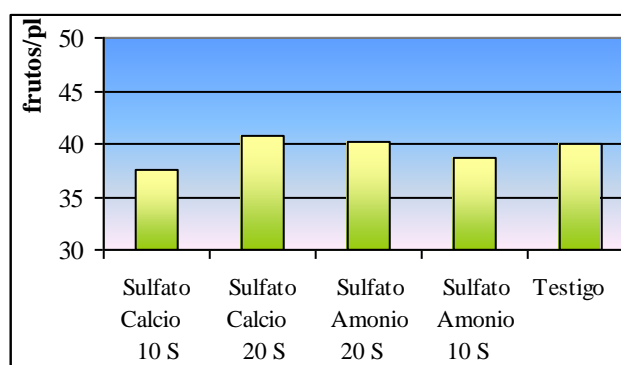


Figura 25: Número de frutos planta⁻¹ según tratamiento.

En la siguiente figura (Fig. 26 y Cuadro 9 del Anexo), se observa claramente que con el incremento de la dosis de S no se aumenta el número de los frutos.

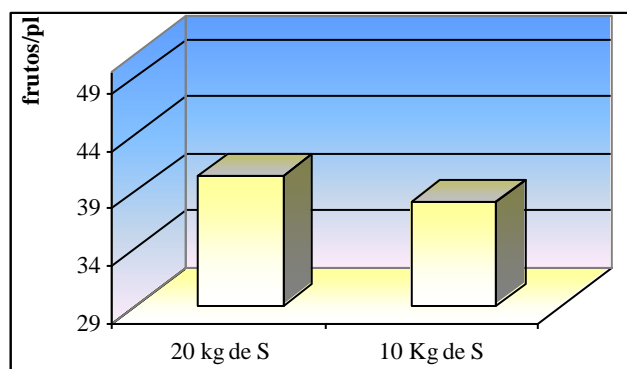


Figura 26: Número de chauchas por planta según dosis de S.

Uno o más granos de una vaina pueden abortar antes de ingresar a su fase de llenado efectivo, modificando el número de granos logrados por vainas. Este componente fue el que menos modificaciones sufrió ante cambios en la disponibilidad de nutrientes (Fig. 27 y Cuadro 7 del Anexo) coincidiendo con Kantolic *et al.* (2003). En esta experiencia se coincide con lo planteado por estos autores, debido a que este componente de rendimiento; la diferencia entre la parcela que tuvo el mayor número de granos por fruto (20 kg de S ha⁻¹ como Sulfato de Amonio) con la que alcanzó el menor valor (Testigo) fue solamente de 2,5 %. Se puede observar que los valores de semillas por fruto en las parcelas con Sulfato de Amonio fueron superiores a las que no recibieron N, con lo cual se puede inferir que este nutriente está relacionado con el número de semillas por fruto. También, puede haber tenido efecto la capacidad de compensar que tiene el cultivo de soja, pues las parcelas fertilizadas con Sulfato de Amonio tuvieron menor número de plantas a cosecha (Fig. 2).

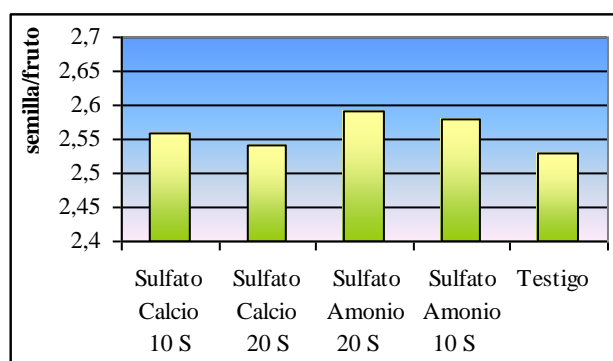


Figura 27: Número promedio de semillas por frutos según tratamiento.

El número de granos por unidad de superficie es un componente complejo que incluye la generación y el establecimiento de diferentes órganos de la planta (Kantolic *et al.*, 2003). Como se observa en el Cuadro 4 el número de semillas m⁻² se mantuvo constante en todas las parcelas, por lo que se puede deducir que la fertilización azufrada con diferentes fertilizantes y dosis prácticamente no modificó este componente (principal componente del rendimiento), la mayor diferencia fue del 5 % entre la parcela con 20 kg S ha⁻¹ como Sulfato de Ca y las parcelas con 10 kg S ha⁻¹ sin importar el fertilizante.

Cuadro 4: Número de plantas m⁻², frutos plantas⁻¹, semillas frutos⁻¹ y semillas m⁻² según tratamiento.

Tratamiento	Plantas m ⁻²	Frutos plantas ⁻¹	Semillas frutos ⁻¹	Semillas m ⁻²
Sulfato de Ca (10 kg S ha⁻¹)	30,0	37,64	2,56	2890
Sulfato de Ca (20 kg S ha⁻¹)	29,2	40,76	2,54	3023
Sulfato de NH₄ (10 kg S ha⁻¹)	29,0	38,64	2,58	2891
Sulfato de NH₄ (20 kg S ha⁻¹)	28,4	40,76	2,59	2960
Testigo	29,0	39,96	2,53	2931

El último componente de rendimiento para analizar es el peso final de las semillas, el mismo puede describirse como una función directa de su tasa de crecimiento y la duración del período de llenado (DPLS). Ambos atributos están regulados genéticamente (por ejemplo los ciclo de cultivares) y varían de acuerdo a las condiciones ambientales (Giorda y Baigorri, 1997).

En esta experiencia, el peso de las 1000 semillas se modificó en respuesta a la fertilización azufrada, aunque de manera no significativa estadísticamente (Fig. 28 y Cuadro 7 del Anexo). En las parcelas fertilizadas las semillas fueron entre un 5 y 6 % más pesadas que el testigo, esto puede deberse a que el S es parte constituyentes de varias proteínas. También, la formación de clorofila requiere de la presencia de S, participa en la síntesis de aceites y vitaminas (Tisdale *et al.*, 1993).

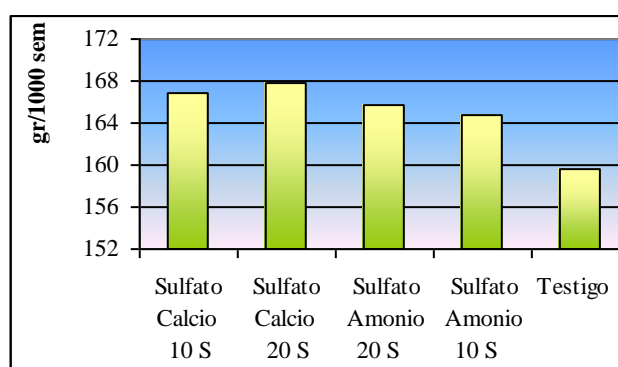


Figura 28: Peso de 1000 semillas según tratamientos.

Este incremento del peso también pudo haber estado relacionado a la mayor acumulación de biomasa en el ciclo del cultivo, ya que en R7 en las parcelas fertilizadas la misma era más elevada (Fig. 23) y por ende estas plantas tuvieron mayor redistribución de nutrientes y fotoasimilados hacia los frutos que las plantas de la parcela testigo. La mayor acumulación puede haber sido el resultado de la mayor tasa de crecimiento de grano, pues es influenciada por la disponibilidad de nutrientes (Kantolic *et al.*, 2003).

El DPLS se lo define como el tiempo durante el cual las semillas acumulan materia seca. Se lo considera como una característica importante relacionada con el rendimiento del cultivo, pues se han encontrado relaciones directas entre ambos (Giorda y Baigorri, 1997). Esto, junto a su menor acumulación de biomasa, también puede explicar en parte el por qué del menor peso de las semillas del testigo, ya que las plantas de esta parcela adelantaron el ciclo aproximadamente 1 semana.

En la Figura 29 y en el Cuadro 8 del Anexo se puede ver que no hubo diferencias entre fertilizantes en el peso de las semillas, es decir que la tendencia es al agregado de S, independientemente de la fuente. Tampoco se observó diferencias con respecto a la dosis de S aplicadas (Fig. 30 y Cuadro 9 del Anexo), posiblemente el suelo aportó los requerimientos

de este nutriente para que la soja obtuviera los rendimientos alcanzados en esta experiencia, o que fue otro nutriente (ejemplo el P) quien no dejó expresar el potencial del peso de las 1000 semillas (185 gr) de este genotipo³, manifestándose la ley del mínimo de Liebig la cual dice que “el rendimiento de un cultivo está limitado por el nutriente que se presenta en mínima cantidad” (la insuficiencia de un nutriente reduce la eficiencia de otros nutrientes)⁴.

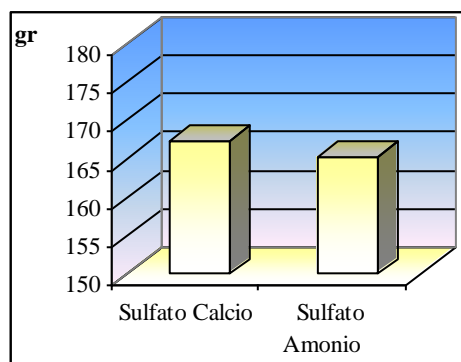


Figura 29: Peso de las 1000 semillas según fertilizante.

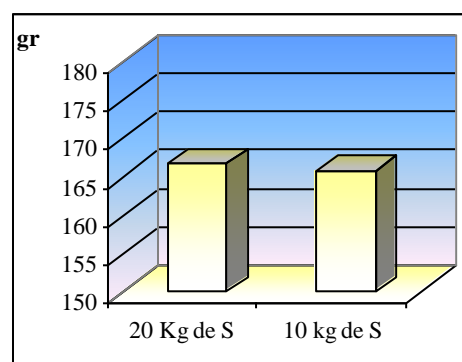


Figura 30: Peso de 1000 semillas según dosis de S.

Rendimiento

En el rendimiento evaluado en esta experiencia a través de sus componentes (Fig.31 y Cuadro 7 del Anexo) no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, aunque se encontró una tendencia de incrementarlo (2 a 4 qq ha⁻¹), siendo la mayor diferencia entre la fertilización con S como sulfato de Ca a una dosis de 20 kg ha⁻¹ y el testigo.

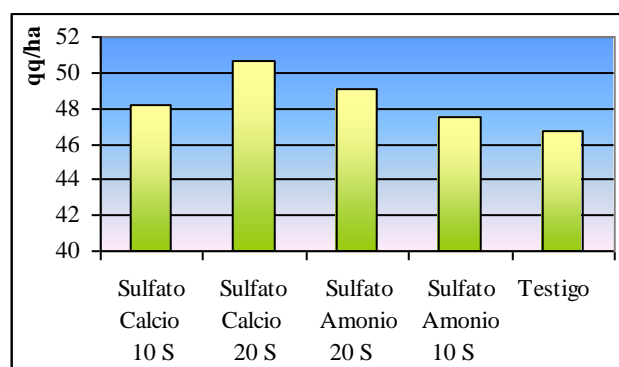


Figura 31: Rendimientos en qq ha⁻¹ según tratamientos.

El rendimiento medido al momento de la cosecha a través de la balanza electrónica que poseía el autodescargable y por medio de estos datos (kg parcela⁻¹) junto al tamaño de las parcelas (1,125 ha) se obtuvo el rendimiento de forma directa (Cuadro 5), observándose que se mantuvo la tendencia vista en la Figura 31, pero las variaciones fueron menores, ya

³ Catálogo de Semillero Don Mario.

⁴ Cátedra de Sistema Suelo – Planta. Material didáctico para el cursado de la materia.

que la mayor diferencia es de 2,7 qq ha⁻¹ entre la parcela con 20 kg ha⁻¹ de S como Sulfato de Ca y el testigo. Los menores rendimientos puede deberse a las pérdidas ocasionadas durante la cosecha.

Cuadro 5: Rendimiento obtenido al momento de la cosecha.

	Sulf. Ca	Sulf. Ca	Sulf. NH4	Sulf. NH4	Testigo
	10 kg S ha ⁻¹	20 kg S ha ⁻¹	10 kg S ha ⁻¹	20 kg S ha ⁻¹	
Total kg cosechados	4925	5100	4850	5040	4795
Superficie (ha parcela⁻¹)	1,125	1,125	1,125	1,125	1,125
Rendimiento (qq ha⁻¹)	43,77	45,33	43,11	44,80	42,60

Los resultados de esta experiencia, con 10 ppm de S, 6,9 ppm de P y 2,39 % de MO coinciden con los obtenidos en otras experiencias en suelos con valores de S y P muy disímiles a los registrados en este establecimiento. En general, los ensayos se realizaron con Sulfato de Ca. En los que se agregó entre 7 y 36 kg S ha⁻¹, se observaron incrementos del rendimiento entre 2 a 6 qq ha⁻¹ (Scheiner *et al.*, 1999; Vivas, 2004; Ferraris y Couretot, 2005; Rovera, 2006). En ensayos realizados con Sulfato de Amonio (10 kg S ha⁻¹) también se observaron incrementos de esa magnitud (Fontanetto *et al.*, 2004).

En esta experiencia, la tendencia en la diferencia de rendimientos entre los tratamientos estuvo influenciada principalmente por la modificación en el peso de las semillas, aunque la misma tampoco fue significativa (Fig. 28). Este aumento en el peso puede deberse a la mayor biomasa acumulada en las parcelas fertilizadas con respecto al testigo (Fig. 23), por ende hubo una mayor disponibilidad de nutrientes y fotoasimilados de los mismos desde las fuentes (principalmente hojas) (Fig. 14), debido a que los destinos (Nº de semillas por unidad de superficie) eran los mismos en todos los tratamientos (Cuadro 4).

El rendimiento no estuvo correlacionado con la nodulación, ya que las parcelas con 20 kg S ha⁻¹ como Sulfato de Amonio fueron las que tuvieron el menor número y peso de nódulos comparado con el testigo (Fig. 4 y 6), aspecto que no se tradujo en el rendimiento, no coincidiendo con lo encontrado por Fontanetto *et al.* (2004).

Tampoco, hubo relación entre el contenido de N en las hojas (Cuadro 3) y el rendimiento debido a que las plantas de las parcelas con Sulfato de Amonio tenía mayor porcentaje de N en hojas que los demás tratamientos lo que no se tradujo en rendimientos. Estos resultados no coinciden con los obtenidos con Venturi y Amaducci (1984).

Calidad fisiológica de las semillas

La producción de semillas requiere de cuidados especiales durante el crecimiento de la planta madre, entre de ellos la disponibilidad de nutrientes. En esta experiencia se evaluó la calidad fisiológica de las semillas a través de la germinación con el test patrón de

germinación (TPG) y el vigor con el test de envejecimiento acelerado (EA), el test de frío (TF) y la energía germinativa (EG).

Test patrón de germinación

La germinación de las semillas no fue modificada por la aplicación de fertilizantes azufrados (Fig. 32 y Cuadro 10 del Anexo), con lo cual se registraron valores cercanos al 100 % de germinación (PG). En cuanto a la energía germinativa, tampoco se observaron diferencias estadísticas entre las semillas de los tratamientos, sólo se observó una tendencia a incrementar (2 % con respecto al testigo) en la parcela con 20 kg de S ha⁻¹ como Sulfato de Ca. Es para destacar que las semillas de todos los tratamientos incluido el testigo alcanzaron el 85 % de energía y consecuentemente los valores de germinación fueron superiores al mínimo (80 %) establecido por el SAGPYA (2006) para la comercialización de semillas.

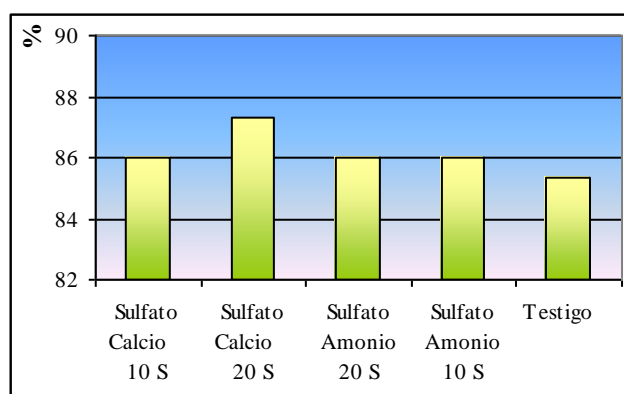


Figura 32: Energía germinativa según tratamientos.

Test de envejecimiento acelerado (EA)

En test de EA se somete a las semillas a condiciones de alta humedad y temperatura por lo que se lo considera como un test de resistencia. Un lote con alto vigor mantendrá su viabilidad después de ser sometidos a esas condiciones, mientras que en los de bajo vigor será reducida.

En esta experiencia no se encontraron diferencias en el vigor evaluado con el EA, los valores encontrados estaban entre el 96 % y 97 %. Si bien todos los tratamientos alcanzaron valores semejantes, el mismo estaba conformado en forma diferente. Las plántulas vigorosas fueron estadísticamente diferente (Fig. 33 y Cuadro 10 del Anexo); las semillas de la parcela con 20 kg de S ha⁻¹ como Sulfato de Ca tuvieron mayor vigor que las de las parcelas con 10 kg de S ha⁻¹ como Sulfato de Amonio y el testigo, aunque estas últimas tuvieron el menor porcentaje. Considerando el otro componente de la germinación, semillas del testigo alcanzaron la mayor proporción (20,5 %) de plántulas débiles.

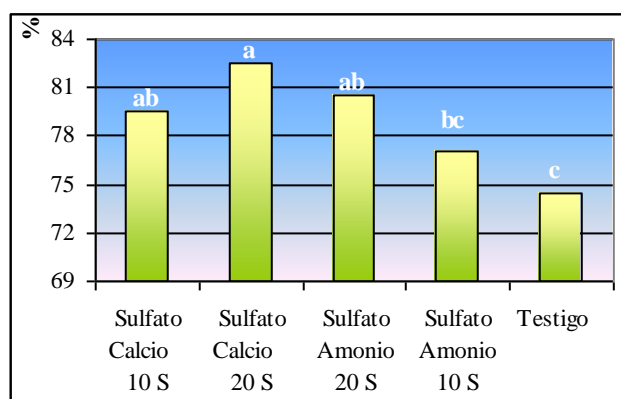


Figura 33: Porcentaje de plántulas vigorosas en el EA según tratamiento.

Para realizar un análisis más profundo de lo planteado, se analizó el comportamiento según el fertilizante azufrado utilizado y según la dosis de S, en las cuales no se evidenciaron diferencias estadísticas entre fertilizantes, sólo hubo un incremento del 2 % con el Sulfato de Ca (Fig. 34 y Cuadro 11 del Anexo), coincidiendo con Keiser y Mullen (1993), quienes observaron que el Ca favorece el desarrollo normal de las plántulas. Con respecto a la dosis (Fig. 35 y Cuadro 12 del Anexo) se observó una relación positiva entre la dosis de S y el porcentaje de plántulas vigorosas, aunque la diferencia entre las dosis sólo provocó un incremento del 3 %.

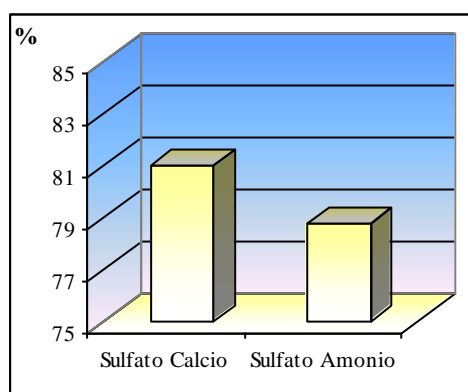


Figura 34: Porcentajes de plántulas vigorosas según fertilizante.

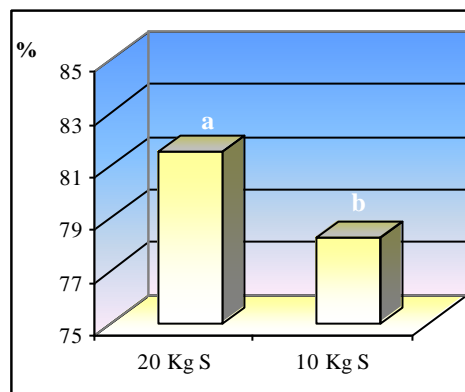


Figura 35: Porcentajes de plántulas vigorosas según dosis de S.

Test de Frío (TF)

Al TF se lo puede considerar como otro test de resistencia. Consiste en someter a las semillas a condiciones de alta humedad y baja temperatura. Se lo utiliza para evaluar principalmente semillas para siembras tempranas y para seleccionar lotes.

En esta experiencia tampoco se observaron diferencias cuando se analizó el vigor con el TF, obteniéndose valores entre 94 y 95 % en todos los tratamientos, pero también se observaron diferencias significativas cuando se evaluaron las plántulas vigorosas (Fig. 36 y Cuadro 10 del Anexo); las semillas de la parcela con 20 kg de S ha⁻¹ como Sulfato de Ca

desarrollaron un 7 % más de estas plántulas con respecto al testigo coincidiendo con lo observado por Burton *et al.* (2000).

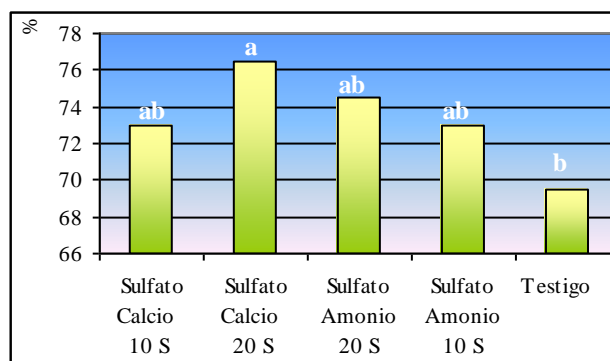


Figura 36: Porcentaje de plantas vigorosas en TF, según tratamiento.

De la Figura 36 se puede inferir que a mayor dosis de S mejor es el comportamiento en el TF, para confirmar estos resultados se analizó los fertilizantes y las dosis en forma separada. Se encontró que no hubo diferencias estadísticas en cuanto a la dosis de S (Fig. 37 y Cuadro 12 del Anexo), sólo se observó una tendencia positiva entre la dosis y el porcentaje de plántulas vigorosas, la diferencia entre 20 y 10 kg de S ha⁻¹ fue de 2,5 %. En lo que respecta al fertilizante (Fig. 38 y Cuadro 11 del Anexo) no se observaron diferencias entre ambas fuentes.

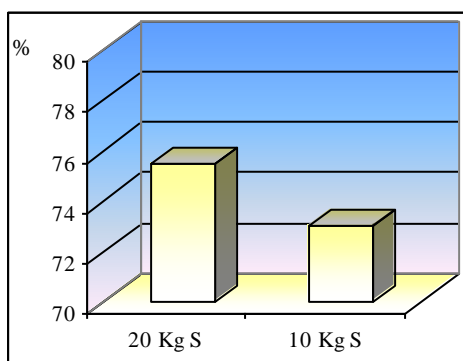


Figura 37: Porcentaje de plántulas vigorosas en el TF según la dosis de S.

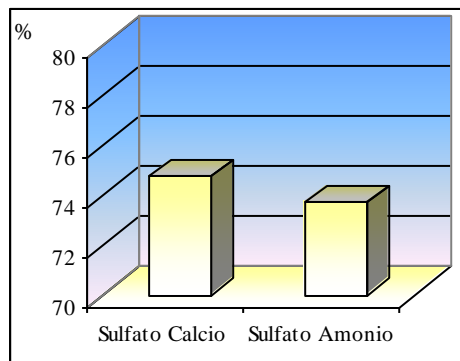


Figura 38: Porcentaje de plántulas vigorosas en TF según fertilizante.

Considerando los resultados de las evaluaciones de la calidad fisiológica se puede concluir que los nutrientes fueron suficientes para el crecimiento de las semillas pues pudieron desarrollar un alto porcentaje de plántulas normales. Ante deficiencias de S se pueden reducir las proteínas almacenadas en las semillas (Wilcox y Shibles, 2001) con lo que se afectarían la síntesis de nuevas proteínas y aminoácidos, y provisión de energía durante el proceso de germinación (Marcos F°, 2005), estas alteraciones pueden producir malformaciones en las plántulas con lo cual se reduce el vigor del lote de semillas (Fig. 33,

35 y 36). Estos efectos también fueron observados con deficiencia de Ca (Burton *et al.*, 2000).

Análisis económico

El análisis económico no debería ser planteado debido a que no existieron diferencias significativas en el rendimiento de granos entre los tratamientos (Fig. 31), por lo de mantenerse los resultados observados en esta experiencia, que la fertilización azufrada no es económicamente viable. A pesar de ello se observó (Cuadro 6) una tendencia a incrementar los rendimientos con la fertilización azufrada, siendo estos valores coincidentes con los registrados por otros autores en un amplio rango de condiciones ambientales (Scheiner *et al.*, 1999; Vivas, 2004; Ferraris y Couretot, 2005; Rovera, 2006). De mantenerse ésta tendencia y los valores del producto y de los insumos de noviembre de 2006 la fertilización con S -con las fuentes del mismo utilizadas en esta experiencia- arrojaría mayor margen bruto.

Cuadro 6: Análisis económico según tratamiento en \$ ha⁻¹.

Parámetros	Sulf. Ca 10 S	Sulf. Ca 20 S	Sulf. NH ₄ 20 S	Sulf. NH ₄ 10 S	Testigo
Precio de soja (\$ qq⁻¹)	63	63	63	63	63
Rendimiento (qq ha⁻¹)	43,77	45,33	44,8	43,11	42,6
Gastos comercialización (\$)	15%	15%	15%	15%	15%
Ingreso Bruto (\$)	2343,88	2427,42	2399,04	2308,54	2281,23
Glifosato 5 l (\$)	40	40	40	40	40
Cipermetrina 150 cm³ (\$)	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
Inoculante (\$)	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
Fung. semillas (\$)	8,70	8,70	8,70	8,70	8,70
Sulf Calcio⁵ (\$)	4,40	8,80	0	0	0
Sulf Amonio⁶ (\$)	0	0	25,20	12,60	0
Fertilización⁷ (\$)	17,85	17,86	17,87	17,88	0
Aplic. Agroquímicos⁸ (\$)	71,40	71,40	71,40	71,40	71,40
Siembra⁹ (\$)	56,10	56,10	56,10	56,10	56,10
Cosecha¹⁰ (\$)	210,94	218,46	215,91	207,76	205,31
CD (\$)	398,49	410,41	424,26	403,52	388,46
Incremental del CD (\$)	10,03	21,95	35,80	15,06	
MB (\$)	1945,38	2017,00	1974,77	1905,02	1892,76
Incremental MB (\$)	52,61	124,23	82,00	12,25	

Precio de la soja: precio promedio del mes de noviembre del 2006.

Valores de insumos y de UTA (\$51): Revista Agro mercado. 2006. N° 259, mes de noviembre.

⁵ Sulfato de Calcio: 80 \$ t⁻¹

⁶ Sulfato de Amonio: 280 \$ t⁻¹

⁷ Fertilización: 0,35 UTA

⁸ Aplicación de Agroquímicos: 1,4 UTA

⁹ Siembra: 1,1 UTA

¹⁰ Costo de cosecha: 9 %

Conclusión

El Sulfato de Amonio redujo el número de plantas emergidas, manteniéndose esta diferencia hasta la cosecha.

El Sulfato de Amonio produjo una disminución tanto en el número como en el peso de los nódulos, es decir que al aplicar un fertilizante que contenga N se desaprovecha la ventaja de este cultivo de fijar N atmosférico, en cambio el Sulfato de Ca produjo un aumento en el peso de los mismos.

El S incrementó la biomasa total acumulada durante el período de crecimiento y la duración del ciclo del cultivo, aproximadamente una semana. También, se observó una coloración verde más oscura en las plantas de las parcelas fertilizadas.

En lo que respecta a los componentes de rendimiento, la aplicación de fertilizantes con S no modificó el peso de las semillas ni el número de éstas por metro cuadrado. Por ende, no hubo diferencias significativas en los rendimientos. Aunque se observó una tendencia a incrementar estos parámetros con la fertilización azufrada, siendo la mejor fuente el Sulfato de Ca con una dosis de 20 kg de S ha⁻¹.

En cuanto a la calidad de la semilla, la germinación y el vigor evaluado con el Test de Frío y el de Envejecimiento Acelerado no se modificaron, aunque hubo un incremento de las plántulas vigorosas con el agregado 20 kg de S ha⁻¹ como Sulfato de Ca.

Al no existir diferencias significativas entre los rendimientos la fertilización azufrada no es económicamente viable.

ANEXOS

Cuadro 1: Estado fenológico R5 según tratamiento.

Tratamiento	Nódulos		Hojas	Ramas	Tallos	Frutos
	Nº m ⁻²	gr m ⁻²				
Sulfato de Ca (10 kg S ha ⁻¹)	1657,60 ab	8,16 b	242,72 a	26,48 a	141,60 a	69,52 b
Sulfato de Ca (20 kg S ha ⁻¹)	1904,80 a	9,92 a	260,40 a	32,64 a	146,72 a	93,68 a
Sulfato de NH₄ (20 kg S ha ⁻¹)	1359,20 c	5,16 d	219,88 a	25,60 a	138,92 a	82,32 ab
Sulfato de NH₄ (10 kg S ha ⁻¹)	1604 bc	6,44 c	227,76 a	25,20a	139,04 a	69,28 b
Testigo	1704 ab	6,12 c	241,88 a	30,52 a	140,32 a	85,76 ab
CV	11,35	8,27	12,62	36,51	13,18	18,33

Cuadro 2: Estado fenológico R5 según fertilizante.

Fertilizante	Nódulos		Hojas	Ramas	Tallos	Frutos
	Nº m ⁻²	gr m ⁻²				
Sulfato de NH₄	1481,60 b	5,08 b	223,8 b	25,4 a	139,00 a	75,8 a
Sulfato de Ca	1781,20 a	9,04 a	251,56 a	29,56 a	144,16 a	81,6 a
CV	9,50	7,78	12,05	30,71	12,35	17,40

Cuadro 3: Estado fenológico R5 según dosis de S.

Fertilizante	Nódulos		Hojas	Ramas	Tallos	Frutos
	Nº m ⁻²	gr m ⁻²				
20 kg S ha⁻¹	1632 a	7,56 a	240,12 a	28,12 a	142,84 a	88,00 a
10 kg S ha⁻¹	1630,8 a	7,32 a	232,04 a	25,84 a	140,32 a	69,40 b
CV	9,50	7,78	12,05	30,71	12,35	17,40

Cuadro 4: Estado fenológico R7 según tratamiento.

Tratamiento	Hojas	Ramas	Tallos	Frutos
Sulfato de Ca (10 kg S ha ⁻¹)	40,76 a	31,00 a	129,68 a	458,58 a
Sulfato de Ca (20 kg S ha ⁻¹)	36,28 a	29,68 a	142,12 a	498,96 a
Sulfato de NH₄ (20 kg S ha ⁻¹)	43,04 a	26,84 a	132,80 a	450,96 a
Sulfato de NH₄ (10 kg S ha ⁻¹)	37,36 a	25,64 a	130,76 a	447,88 a
Testigo	22,32 a	28,32 a	133,44 a	418,32 a
CV	43,64	48,05	10,07	15,25

Cuadro 5: Estado fenológico R7 según fertilizante.

Fertilizante	Hojas	Ramas	Tallos	Frutos
Sulfato de NH₄	38,52 a	26,24 a	131,80 a	478,64 a
Sulfato de Ca	40,20 a	30,36 a	135,88 a	449,44 a
CV	41,66	42,23	10,11	15,19

Cuadro 6: Estado fenológico R7 según dosis de S.

Fertilizante	Hojas	Ramas	Tallos	Frutos
20 kg S ha⁻¹	39,68 a	28,28 a	137,48 a	474,96 a
10 kg S ha⁻¹	39,04 a	28,32 a	130,24 a	453,08 a
CV	41,66	42,23	10,11	15,19

Cuadro 7: Componentes de rendimiento según tratamiento.

Tratamiento	Plantas	Frutos	Semillas	Peso 1000 semillas	Rendimiento
	Nº m ⁻²	Nº planta ⁻¹	Nº fruto ⁻¹	gr	qq ha ⁻¹
Sulfato de Ca (10 kg S ha⁻¹)	30 a	37,64 a	2,56 a	166,9 a	48,20 a
Sulfato de Ca (20 kg S ha⁻¹)	29,2 ab	40,76 a	5,54 a	167,74 a	50,70 a
Sulfato de NH₄ (20 kg S ha⁻¹)	28,4 b	40,24 a	2,59 a	165,62 a	49,07 a
Sulfato de NH₄ (10 kg S ha⁻¹)	29 ab	38,64 a	2,58 a	164,80 a	47,50 a
Testigo	29 ab	39,96 a	2,53 a	159,70 a	46,71 a
CV	3,76	7,49	2,19	3,47	6,68

Cuadro 8: Componentes de rendimiento según fertilizante.

Fertilizante	Plantas	Frutos	Semillas	Peso 1000 semillas	Rendimiento
	Nº m ⁻²	Nº planta ⁻¹	Nº fruto ⁻¹	g	qq ha ⁻¹
Sulfato de Ca	29,6 a	39,20 a	2,55 a	167,32 a	49,45 a
Sulfato de NH₄	28,7 b	39,44 a	2,59 a	165,21 a	48,28 a
CV	3,21	7,14	1,95	3,77	6,50

Cuadro 9: Componentes de rendimiento según dosis de S.

Fertilizante	Plantas	Frutos	Semillas	Peso 1000 semillas	Rendimiento
	Nº m ⁻²	Nº planta ⁻¹	Nº fruto ⁻¹	g	qq ha ⁻¹
20 kg S ha⁻¹	28,80 a	40,5 a	2,57 a	166,68 a	49,89 a
10 kg S ha⁻¹	29,50 a	38,14 a	2,57 a	165,85 a	47,85 a
CV	3,21	7,14	1,95	3,77	6,50

Cuadro 10: Calidad de las semillas según tratamiento.

Tratamiento	Germinación	Vigor		
		Energía germinativa	Envejecimiento Acelerado	Test de Frío
		%		
Sulfato de Ca (10 kg S ha⁻¹)	100 a	86 a	79,50 ab	73,00 ab
Sulfato de Ca (20 kg S ha⁻¹)	100 a	87,33 a	82,50 a	76,50 a
Sulfato de NH₄ (20 kg S ha⁻¹)	100 a	86 a	80,50 ab	74,50 ab
Sulfato de NH₄ (10 kg S ha⁻¹)	99,67 a	86 a	77,00 bc	73,00 ab
Testigo	100 a	85,33 a	74,50 c	69,50 b
CV	0,26	3,23	2,93	4,36

Cuadro 11: Calidad de las semillas según fertilizante.

Tratamiento	Germinación	Vigor		
		Energía germinativa	Envejecimiento Acelerado	Test de Frío
		%		
Sulfato de Ca	100 a	86,67 a	81,00 a	74,75 a
Sulfato de NH₄	99,83 a	86,00 a	78,75 a	73,75 a
CV	0,29	3,14	3,00	4,63

Cuadro 11: Calidad de las semillas según dosis de S.

Tratamiento	Germinación	Vigor		
		Energía germinativa	Envejecimiento Acelerado	Test de Frío
		%		
20 kg S ha⁻¹	100 a	86,67 a	81,5 a	75,50 a
10 kg S ha⁻¹	99,83 a	86,00 a	78,25 b	73,00 a
CV	0,29	3,14	3,00	4,63

Bibliografía Citada

- AGREFERT. 2006. Características del Sulfato de Amonio. En: www.agrefert.com/productos/extensivos/as. Consultado: 15/11/2006.
- ASUFRAR. 2005. Características del Sulfato de Calcio. En: www.asufrar.com.ar/productos. Consultado: 08/05/2005.
- BEWLEY, J.D. y M. BLACK. 1994. **Seeds: Physiology of development and germination**. Ed. Plenum Press, 2^{da} ed. 560 p.
- BURTON, M.G., M.J. LAUER y M.B. McDONALD. 2000. Calcium effects on soybean seed production, elemental concentration and seed quality. **Crop Sci.** 40: 476-482.
- CICORE, P., H. SAINZ ROZAS, H. ECHEVERRIA y P. BARBIERI. 2005. Materia seca nodular y nitrógeno acumulado en el cultivo de soja en función de la disponibilidad de agua y azufre, y del sistema de labranza. En: www.scielo.org.ar/scielo.php. Consultado: 15/11/06.
- CORDONE, G. y F. MARTÍNEZ. 2000. El azufre en el sistema agrícola del Centro – Sur de Santa Fé. En: www.elsitioagricola.com/articulos/cordone. 25 p. Consultado: 15/11/06.
- DARWICH, N. 1999. Como lograr altos rendimientos en soja. Cyanamid Argentina S.A. Buenos Aires. 54 p.
- DIAZ ZORITA, M. y M. FERNANDEZ CANIGGIA. 1998. Azufre y nitrógeno en la implantación de pasturas perenne en la región de la pampa arenosa Argentina. **Ciencias del suelo.** 73: 103-106.
- DIJKSHOORN, D. y A.L. VAN WIJK. 1967. The sulphur requirements of plants as evidenced by the sulphur-nitrogen ratio in the organic matter, a review of published data. En: ___. **Plant and Soil.** Cap. 26. p: 129-157.
- FEHR, W.R. y C.E. CAVINESS. 1977. Stages of soybean development. Coop. Ext. Ser., Iowa Agric. and Home Econ. Exp. Stn., Iowa State Univ., Ames, Iowa. **Spec. Rep.** N° 80.
- FERNANDEZ CANIGGIA, M. 2003. Manual de la nodulación. 53 p En: www.nitragin.com.ar/Manualdenodulacion-Sept03.pdf. Consultado: 15/11/06.
- FERRARIS, G. y L. COURETOT. 2005. Evaluación de dos formas alternativas de aplicación de sulfato de calcio. En: www.elsitioagricola.com/articulos/ferraris. Consultado: 20/05/05.
- FONTANETTO, H., M. DIAZ ZORITA y H. VIVAS. 2004. Inoculación y fertilización con Fósforo y Azufre sobre la nodulación y los rendimientos de soja. En: www.inta.gov.ar/Rafaela/info/documentos. Consultados: 20/11/2006.
- FRY, S.C. 1986. Cross-linking of matrix polymers in the growing cell walls of angiosperms. **Annu. Rev. Plant Physiol.** 37: 165-186.

- GALARZA, C. 1999. Conceptos generales sobre fertilización de soja. En: www.imperial.com.ar. Consultado: 10/12/06.
- GALARZA C., V. GUDELJ y P. VALLONE. 2001. Fertilización del cultivo de soja. En: www.redagraria.com/articulos/fertilizacion-soja. Consultado: 08/05/05.
- GARCIA, F. 1999. Soja: Nutrición del cultivo y Fertilización. En: www.fertilizar.org.ar/articulos/azufre. Consultado: 08/05/05.
- GARCIA, F. 2006. Fertilización de Maíz en la Región Pampeana En: www.elsitioagrico.com/articulos/garcia/fertilizacion. Consultado: 08/05/05
- GIORDA, M.L. y H.E.J. BAIGORRI. 1997. **El cultivo de la soja en Argentina**. INTA. Centro Regional Córdoba. EEA INTA Marcos Juárez – EEA INTA Manfredi. 448 p.
- GONZÁLEZ, N. 1996 Fijación del nitrógeno. En: Curso de actualización “**Dinámica de nutrientes en suelos agrícolas**”. EEA INTA Balcarce.
- GUDELJ, V. y P. VALLONE. 2000. Fertilización con azufre, boro y zinc. **Agro Mercado** 20(51): 67-72.
- GUTIERREZ, F.D. y J.D. SCHEINER. 2003. Experiencia de fertilización de soja. En: [www.elsitioagrico.com/articulos/Fertilización en soja](http://www.elsitioagrico.com/articulos/Fertilizacion%20en%20soja). Consultado: 08/05/05.
- GUTIÉRREZ BOEM, F.H. y G.W. THOMAS. 2001. Leaf area development in soybean as affected by phosphorus nutrition and water deficits. **J. Plant Nutrition**. 24(11): 1711-1729.
- HAMPTON, J.G. y D.M. TEKRONY. 1995. **Handbook of vigor test methods**. Zurich: International Seed Testing Association. 117 p.
- HITSUDA, K., G.J. SFREDO y D. KLEPKER. 2004. Diagnosis of sulfur deficiency in soybean using seeds. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 68: 1445-1451.
- HITSUDA, K., M. YAMADA y D. KLEPKER. 2005. Sulfur requirement of eight at stages of growth. **Agron. J.** 97: 155-159.
- INTA. 1986. **Carta de suelo de la República Argentina**. Hoja 3363-29 Arias.
- ISTA. Internacional Seed Testing Association. 2003. **Internacional Rules for Seed Testing. Rules 2003**. Zurich. Switzerland.
- KANTOLIC, A., P.L. GIMENEZ y E.B de la FUENTE. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. En: Satorre, E. *et al.* **Producción de granos. Bases funcionales para su manejo**. Cap. 9. p: 167-201.
- KEISER, J.R. y R.E. MULLEN. 1993. Calcium and relative humidity effects on soybean seed nutrition and seed quality. **Crop Sci.** 33: 1345-1349.
- KOCHANIUK, D., M. IGLESIAS, E. AVICO y C. SOTELO. 2004. Fertilización del cultivo de soja con sulfato de calcio y óxido de calcio. En: [www.engormix.com/fertilización_cultivo_soja_articulos.htm](http://www.engormix.com/fertilizacion_cultivo_soja_articulos.htm). Consultado: 15/11/06

- INFOSTAT. 2006. Software Estadístico. Versión 2005p1. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.
- MALAVOLTA, E.; G.E. VITTI y S.A. OLIVERA. 1989. **Avaliação de estado nutricional das plantas**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Posfato. 201 p.
- MARTÍNEZ, F. 1999. Nitragim Argentina, Testimonios. AAPRESID 1999. s/p.
- MARCOS Fº, J. 2005. **Fisiologia das sementes das plantas cultivadas**. FEALQ. Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz. Vol. 12. 495 p.
- MELGAR, R. y M. GEARHART HONEYWELL. 2003. Manejo del azufre y fertilización azufrada en siembra directa. En: [www.elsitioagricola.com/articulos /Fertilización en soja](http://www.elsitioagricola.com/articulos/Fertilización%20en%20soja). Consultado: 08/05/2005.
- MENGEL, K. y E.A. KIRKBY. 2000. Azufre. En: ____. **Principios de nutrición vegetal**. Instituto Internacional de la Potas. Basilea, Suiza. 4ta Edición, 1ra en español. Cap.8. p: 339-355.
- PERGOLINI, S. 2004. Diferentes Modelos de Siembra y Fertilización con Azufre del Cultivo de Soja en un Sector de Lomas. En: [www.elsitioagricola.com/articulos /Fertilización en soja](http://www.elsitioagricola.com/articulos/Fertilización%20en%20soja). Consultado: 08/05/2005.
- PERTICARI, A. 2006. Fijación biológica de nitrógeno: Un aporte sustantivo para la producción de soja. **Soja. Actualización 2006. INTA**. Informe de Actualización Técnica N° 3. p: 5-12.
- ROBERTS, E.H. y R.H. ELLIS. 1980. Seed physiology and seed quality in soybean. In: Summerfield y Bunting. **Advances in Legumes Science**. p: 297-311.
- ROVERA, M.A. 2006. **Rendimiento del cultivo de soja con fertilización azufrada y fosfatada**. Trabajo Final de Grado. FAV – UNRC. 20 p.
- SAGPYA. 2006. Tolerancia para semillas de clases fiscalizadas e identificada RS. SAGPYA 2030/93 En: www.sagpya.mecom.gov.ar/17/pagweb/normas.htm. Consultado: 15/12/06.
- SCHEINER, J., F. GUTIERREZ BOEM y R. LAVADO. 1999. Experiencias de fertilización de soja en el Centro Norte de Buenos Aires. En: www.elsitioagricola.com/articulos/scheiner. Consultado: 08/05/2005.
- STRAZISCAR, V. y R. MELGAR. 2003. Yeso Agrícola. En: [www.fertilizando.com /articulos/yesopagrica.asp](http://www.fertilizando.com/articulos/yesopagrica.asp). Consultado: 15/11/2006.
- TISDALE, S., W. NELSON y J. BEATON. 1993. **Soil fertility and fertilizers**. Mac Millan Pub. Co. New York, EE.UU. 5ª Edición. 634 p.
- TOMÉ Jr., J.B. 1997. Métodos analíticos. En: ____ **Manual para interpretação de análise de solo**. Livraria e Editora Agropecuária Ltda. Guaíba-RS, Brasil. Cap. 3. p: 59-87.
- VIVAS, H.S. 2004. Fósforo y Azufre en la producción de soja sobre un suelo del departamento San Justo, Santa Fe. En: [www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos /misc104/cultivos_p66.pdf](http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/misc104/cultivos_p66.pdf). Consultado: 15/11/06.

- VENTURI, G. y M. AMADUCCI. 1984. La soja. Ed. Agrícola. Bologna Italia. 255 p
- VIVAS H.S, H. FONTANETO, R. ALBRECH y J. HOTIAN. 2002. Fertilización con nitrógeno y azufre y fuentes azufradas en la producción de trigo. Campaña 2001. En: www.fertilizar.org.ar/articulos/azufre. Consultado: 08/05/2005.
- VIVAS, H.S. y F. SEFFINO. 2006. Toxicidad del superfosfato triple y del fosfato diamónico sobre la emergencia de plantas de soja. 1996/97. En: www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/productores9798/prod.htm. Consultado: 29/10/2006.
- WILCOX, J.R. y R.M. SHIBLES. 2001. Interrelationships among seed quality attributes in soybean. **Crop Sci.** 41: 11-14.
- XIAOBING LIUA, JIAN JINA, S.J. HERBERTB, QIUYING ZHANGA y GUANGHUA WANGA. 2005. Yield components, dry matter, LAI and LAD of soybeans in Northeast China. **Field Crop Res.** 93: 85–93.