

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

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

RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SOJA
CON FERTILIZACIÓN AZUFRADA Y FOSFATADA

ROVERA MIGUEL ANGEL
25720067

Director: FERNANDEZ, ELENA
Co-Director: BONGIOVANNI, MARCOS

Río Cuarto - Córdoba
Noviembre 2006

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Rendimiento del cultivo de soja con fertilización azufrada y fosfatada

Autor: Miguel Rovera

DNI: 25720067

Director: Elena M. Fernandez

Co-Director: Marcos Bongiovanni

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

Isabel Bernardo

Eugenio Hampp

Alfredo Ohanian

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

I. ÍNDICE DEL TEXTO

	Página
I. Índice de Texto	III
II. Índice de Cuadros	IV
III. Índice de Figuras	V
IV. Resumen	VI
V. Summary.....	VII
1. Introducción.....	1
2. Hipótesis.....	4
3. Objetivo General	4
4. Objetivo Específicos.....	4
6. Materiales y Métodos.....	5
7. Resultados y Discusión.....	7
8. Conclusión.....	18
9. Bibliografía citada.....	19

II. ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1	14
Cuadro 2	16
Cuadro 3	17

II. ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1:	6
Figura 2:	7
Figura 3:	8
Figura 4:	9
Figura 5:	9
Figura 6:	10
Figura 7:	10
Figura 8:	11
Figura 9:	11
Figura 10:	12
Figura 11:	12
Figura 12:	13
Figura 13:	13
Figura 14:	14
Figura 15:	15

III. RESUMEN

El cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) es uno de los más extractivos puesto que devuelve muy pocos nutrientes al suelo, exportándose la mayor parte de los mismos en el grano. El trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la respuesta del rendimiento a la fertilización azufrada y fosfatada en el cultivo de soja de grupo de madurez V intermedio (María 55). El mismo se llevó a cabo en el establecimiento "La Juanita" ubicado a 5 km al este de la localidad de Alcira Gigena - Córdoba. La siembra se realizó el 24/12/03. Durante el ciclo del cultivo se evaluó la materia seca de soja en R1, R3, R5 y R7, el rendimiento y sus componentes. El peso seco de los órganos aéreos estuvo influenciado por el efecto del P. El número de plantas fue reducido posiblemente por el efecto del fertilizante fosforado. El número de semillas por metro cuadrado fue levemente mayor con la fertilización, principalmente con la aplicación de P y el peso de las 100 semillas se incrementó con la mezcla de P+S. Como resultado de las modificaciones en estos componentes, la fertilización provocó un aumento no significativo en el rendimiento, principalmente con la mezcla de P+S. Lo que estaría evidenciando una interacción positiva entre estos dos elementos.

IV. SUMMARY

The growth of soybean is one of the most extractive ones because it restores very few nutrients to the soil exporting most of them in the grain. The project was carried out with the aim of testing the response of the sulfurated and phosphatated fertilization in the growth of soybean of an intermediate maturity group V. It was carried out in the establishment “La Juanita”, located 5 km (to the east) from Alcira Gigena- Córdoba. The sowing was carried out the 24/12/03. During the cycle of the growth, the dry matter, the yield and the components of soybean were tested in R1, R3, R5 and R7. The dry weight of the aerial organs could be influenced by phosphorus fertilizer. The number of grains by square area was slightly higher with the fertilization, mainly with the application of P and the weight of the 100 grains was increased with the mixture of P+S. As a result of these components, the fertilization increased the yield not significantly, mainly with the mixture of P+S. That would be showing a positive interaction between these two elements.

INTRODUCCIÓN

La superficie sembrada con soja en la Argentina ha aumentado significativamente, alcanzando en la campaña 2003/2004 los 14.5 millones de ha, con una producción de 31.5 millones de tn y un rendimiento promedio de 22.1 qq ha⁻¹, superando levemente el promedio mundial. En la región Pampeana se concentra el 83.68 % del área sojera, mientras que las provincias extra pampeanas representan el 16.32 % del área destinada a esta oleaginosa (SAGPYA, 2005).

El incremento de la producción de cereales y oleaginosas en el mediano plazo deberá realizarse en base a una mejora en la eficiencia de utilización de la superficie dedicada a tal fin, en consideración de que es poco probable que esta última se incremente sustancialmente. No obstante, los suelos de la región pampeana, otrora caracterizados por su fertilidad, han sufrido un importante proceso de degradación, lo que hace peligrar su capacidad productiva (Andriulo *et al.*, 1996). Es a través de la conservación del recurso suelo, con la adopción de adecuadas prácticas de manejo y una correcta nutrición de los cultivos, como se podrá superar la actual situación, generando sistemas sustentables.

La soja es uno de los productos agrícolas más valiosos y rentables por poseer buena adaptabilidad sobre un amplio rango de condiciones edáficas y climáticas, pudiendo ser cultivada en la mayoría de las áreas agrícolas del mundo, gracias a su habilidad de fijar nitrógeno (N) atmosférico. Además, el grano de soja tiene aproximadamente 40 % de proteína y 20 % de aceite, que lo ubica primero en contenido proteico entre los cultivos alimenticios (Hartwig y Kilen, 1991).

La Argentina es el principal exportador mundial de aceite de soja y es el segundo de harina de esta especie, debido a esto el complejo exportador de soja es el más relevante para la economía del país, lo que significa unos 3.500 millones de dólares. La superficie dedicada a este cultivo en la Argentina continúa creciendo y con la aparición de los materiales transgénicos, parecería no existir un techo a la producción del mismo. Los 20 millones de toneladas producidas en la campaña 1999/00 y los 21,2 millones de toneladas en la del 2000/01, serán ampliamente superados por una producción cercana a los 26 millones de toneladas si se cumplen los pronósticos del informe del Servicio de Agricultura de los EE.UU. (Giorda, 1998).

Por otra parte, el cultivo de soja es uno de los más extractivos puesto que devuelve muy pocos nutrientes al suelo, exportándose la mayor parte de los mismos en el grano. La exportación de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) para producir cuatro toneladas de grano es de 240, 27, 78, 12, 11 y 19 kg ha⁻¹, respectivamente. Además, para dicha producción, se exportan 31, 446, 53, 300, 198, 17 y

168 g ha⁻¹ de boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn), respectivamente (García, 2000). No obstante, los nutrientes repuestos por fertilización son generalmente una pequeña proporción de lo que exporta el grano, lo que genera balances negativos en la disponibilidad de nutrientes del sistema suelo (Martínez y Cordone, 2000). Esta situación ha provocado que la deficiencia de N y P se haya generalizado en la región pampeana y en los últimos años también se han observado deficiencias de azufre (S) (Martínez y Cordone, 2000; González *et al.*, 1997), causado por la intensificación de la agricultura (González *et al.*, 1997).

Para poder maximizar el rendimiento, es importante que durante la formación de las vainas, el cultivo pueda hacer un uso eficiente de los recursos del ambiente disponibles, entre ellos la radiación solar y los nutrientes. El rendimiento del cultivo de soja, como el de otros cultivos, se puede descomponer en el número y peso individual de los granos.

Hace años que la soja se cultiva prácticamente sin fertilización fosforada, ni de otro tipo, o con dosis que no compensan la exportación del P en el grano (80-85 % del total absorbido). Como las vías de reposición natural del P al suelo son irrelevantes, la falta de fertilización ha provocado una caída en la disponibilidad de P en los suelos. Como la disponibilidad inicial de P en muchas zonas de la región era de media a alta, esta extracción se pudo sostener sin mayores consecuencias para la producción y los rendimientos. Pero en la actualidad son cada vez más frecuentes los casos en que la disponibilidad de P por hectárea cayó por debajo del mínimo necesario para cubrir los requerimientos del cultivo. El P se encuentra en los suelos tanto en formas orgánicas, ligadas a la materia orgánica, como inorgánicas. La solubilidad de estas formas, y por lo tanto su disponibilidad para las plantas está condicionada por reacciones fisicoquímicas y biológicas, las que a su vez afectan la productividad de los suelos (Thomas, 1989). Las plantas absorben el P exclusivamente en la forma inorgánica que está en la solución del suelo. De esta manera, el P inorgánico disuelto satisface la demanda de los cultivos durante el período de crecimiento. Por lo tanto, el fósforo en la solución debe ser repuesto constantemente a partir de formas fácilmente extraíbles, tanto orgánica como inorgánica (Boschetti *et al.*, 2001).

El P desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división y crecimiento celular y otros procesos que se llevan a cabo en la planta. Además, promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces (Agropec star, 2006).

La eficiencia de la conversión de la energía de la radiación incidente en biomasa (kg de materia seca acumulada por unidad de energía capturada) puede variar debido al estado nutricional del cultivo. Incluso cuando la deficiencia fosforada no es tan severa como para disminuir en forma importante la formación de área foliar (AF), la eficiencia con que el

cultivo hace uso de la radiación capturada puede ser afectada (Gutiérrez Boem y Thomas, 2001).

La deficiencia de P disminuye tanto la velocidad de aparición de las hojas como su tamaño (Gutiérrez Boem y Thomas, 1999) y la expansión foliar (Fredeen *et al.*, 1989). Esto se traduce en una reducción del AF e índice de área foliar, aunque cuando la deficiencia no es tan severa -como para disminuir en forma importante la formación del AF-, puede ser afectada la eficiencia de uso de la radiación capturada (Gutiérrez Boem y Thomas, 1999). También disminuye el rendimiento del cultivo de soja debido a una reducción en el número de granos, porque el peso no es muy influenciado por factores ambientales o prácticas de manejo debido a su alta heredabilidad.

El número de granos se determina durante la formación de las vainas, por lo cual es necesario mantener el AF durante ese periodo, pues se ha observado una relación directa entre el rendimiento y la radiación solar incidente (Liu *et al.*, 2005). Uno de los aspectos a considerar es la cobertura del suelo, directamente relacionada al AF desarrollada, que depende, entre otros factores, de las características del cultivar y de la disponibilidad de P del suelo, ya que una deficiencia de este nutriente disminuye tanto la velocidad de aparición de hojas como su tamaño (Gutiérrez Boem y Thomas, 1999).

El azufre (S) es uno de los 16 elementos esenciales para el crecimiento de la soja. En la región pampeana, la disponibilidad de S en los suelos ha ido disminuyendo por la extracción a través de las cosechas y la falta de reposición por fertilización. La intensificación de la agricultura y los altos rendimientos resultan en respuestas significativas a la aplicación del nutriente en algunas zonas y situaciones (Tisdale *et al.*, 1993).

La mayor reserva de S en los suelos, al igual que el nitrógeno, se encuentra en forma orgánica. El S orgánico es mineralizado a formas inorgánicas disponibles para los cultivos (sulfato), a través de la acción microbiana (Tisdale *et al.*, 1993). En la mayoría de los suelos arables, el azufre se encuentra en la materia orgánica, en la solución del suelo como sulfatos solubles, o adsorbido en el complejo absorbente del suelo. La forma orgánica representa más del 90 % del S total en la mayoría de los suelos no calcáreos. Las plantas absorben S principalmente como ion sulfato (Cordone y Martínez, 1999).

El suministro de S, al inicio del crecimiento de la planta de soja, mejora la nodulación. El alto requerimiento de N por el cultivo puede ser cubierto por la nodulación hasta un cierto punto. La información experimental disponible indica que al favorecer la nodulación temprana produce un incremento en el rendimiento. Se infiere que el aumento de rendimiento que se obtiene por la fertilización azufrada se debería en parte a la disponibilidad de S para la síntesis de proteínas con aminoácidos azufrados y, en parte, a un mayor abastecimiento de N al cultivo por la mejor actividad simbiótica (Cordone y Martínez, 1999). Además, el S es parte de tres aminoácidos esenciales (cistina, cisteína y metionina),

los cuales intervienen en la formación de varias proteínas. Por otro lado, la formación de clorofila requiere de la presencia de S, también participa en la formación de aceite y vitaminas. La participación del S en la formación de proteínas y aceites, explica su importancia en la calidad industrial de harinas y aceites en general y el valor nutritivo de los granos (Tisdale *et al.*, 1993). Además este elemento es importante para el crecimiento y rendimiento del cultivo (Cordone y Martínez, 1999).

HIPÓTESIS:

La fertilización con azufre y fósforo incrementará los rendimientos del cultivo de soja de grupo de madurez V (cinco y medio).

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la respuesta del rendimiento a la fertilización azufrada y fosfatada en el cultivo de soja grupo de madurez V en un Hapludol típico de la región de Alcira Gigena.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Evaluar la biomasa de los órganos aéreos durante el ciclo reproductivo del cultivo de soja en función de la fertilización con azufre y fósforo.
- Evaluar el rendimiento y sus componentes en función de la fertilización con azufre y fósforo.
- Realizar Análisis Financiero Marginal.

MATERIALES Y MÉTODO

Ubicación del ensayo

El experimento a campo se realizó en el establecimiento "La Juanita" ubicado a 5 km al este de la localidad de Alcira Gigena, Provincia de Córdoba.

El tipo de suelo que se encuentra en el establecimiento es un Hapludol típico, con las siguientes características:

- Materia Orgánica 1.62 % (Método Walkley-Black)
- Nitrógeno de nitratos (N-NO₃) 7.95 ppm
- Nitratos (NO₃⁻) 38.00 ppm
- Fósforo (P) 17.30 ppm (Método Kurtz y Bray I)
- Sulfatos (SO₄²⁻) 15.00 ppm (Turbimetría)
- pH (en Agua) (1:2.5) 6.60

Metodología de investigación

El lote donde se realizó el ensayo tenía una historia de rotación soja, maíz, soja. En la primavera de 2003 se hizo un barbecho químico. La siembra fue en directa. La semilla de soja utilizada para la realización del ensayo fue del cultivar María 55. La siembra se realizó el 24/12/03, a 52 cm entre hileras con 27 semillas por metro lineal, con una sembradora TEDESCHI de 10 cuerpos equipada con doble fertilización.

Se utilizó un diseño en bloques al azar, donde la parcela fue el fertilizante. Los tratamientos fueron los siguientes:

- Fertilización con fósforo (P) (40 kg de fosfato diamónico*).
- Fertilización con azufre (S) (40 kg de sulfato de calcio**).
- Fertilización con azufre (S) y fósforo (P) (40 kg de fosfato diamónico y 40 kg de sulfato de calcio).
- Testigo sin fertilización.

* Fosfato diamónico: N: 18 %; P₂O₅: 46 %; P: 20 %

** Sulfato de calcio: Ca: 22.5 %, S: 55 %.

Los fertilizantes fueron aplicados a la siembra en la línea y en todos los tratamientos se inoculó la semilla con Rizobacter (dosis de marbete).

Las parcelas fueron de aproximadamente 6500 m², de 31.5 m de ancho por 200 m de largo. Durante el ciclo del cultivo se realizaron los controles necesarios de enfermedades, malezas y plagas para un desarrollo normal del cultivo.

Durante el ciclo del cultivo se realizaron controles químicos de malezas y plagas (*Nezara viridula*, *Rachiplusia nu*).

Evaluaciones y seguimiento

Se realizaron las siguientes observaciones y determinaciones:

- Clima:

Precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo.

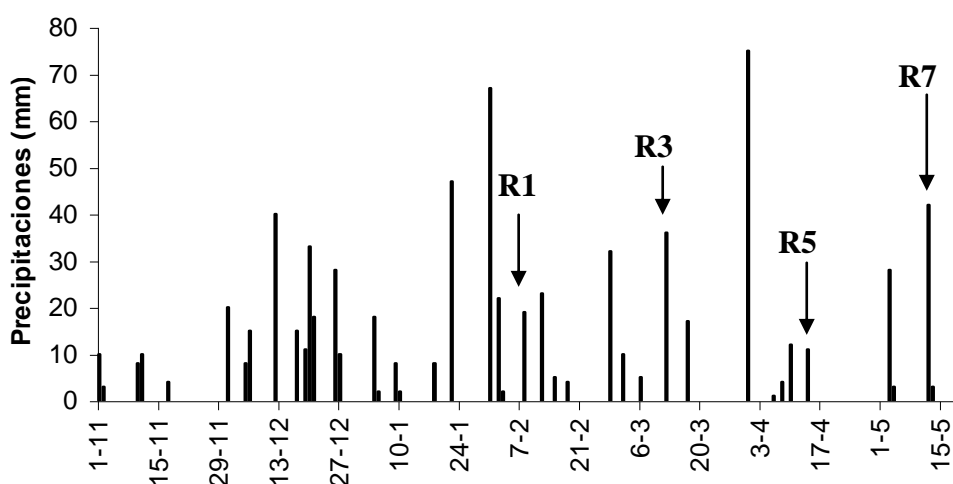


Fig. 1: Precipitaciones desde noviembre de 2003 hasta junio de 2004 y etapas fonológicas del cultivo.

- En el cultivo:

Durante el ciclo del cultivo:

- Materia seca por planta: en las etapas fenológicas R1, R3, R5 y R7 se tomó una muestra de 5 plantas por tratamiento, se separaron los órganos presentes y secaron en estufa de circulación de aire forzado a 40 °C hasta peso constante.
- Tiempo a cubrir el surco en días.

A cosecha (3 muestras de 1.04 m²):

- Componentes del rendimiento: se cosecharon plantas por parcela a madurez para medir número de frutos, peso de frutos y semillas por planta.
- Rendimientos de frutos y semillas: fueron calculados a partir de los pesos determinando en el punto anterior.
- Altura de la planta (m).

Los datos fueron analizados mediante ANOVA con el programa Infostat y las medias comparadas con el test de Duncan (P= 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de plantas

El número de plantas por superficie es uno de los componentes del rendimiento que se define al momento de la siembra. Es una práctica de manejo que a su vez puede ser modificada por otras decisiones tomadas al momento de la siembra. En esta experiencia se observó una disminución cuando se realizó fertilización fosforada (Fig. 2), aunque el efecto fue menor cuando el P fue aplicado conjuntamente con el S. Esta reducción puede ser atribuida, entre otros factores, a un efecto de toxicidad del fosfato diamónico, pues Vivas y Seffino (1998) observaron que el NH_3 liberado al suelo por los fertilizantes que contienen N aumenta el pH, pudiendo llegar hasta 9 en situaciones extremas, como en el caso de la disolución de urea. Sin duda el fertilizante aplicado junto con la semilla incrementa la toxicidad con el aumento de la dosis y se agrava si se trata de un producto fosfatado combinado con nitrógeno. En esta experiencia, el fertilizante fue aplicado en la línea de siembra, lo que agravó la situación. Según Martínez (1999), en soja no se debería poner ningún fertilizante en la línea de siembra junto a las semillas, porque no sólo afectaría a éstas sino también las bacterias del inoculante. Este autor observó que con dosis mayores de 10 o 12 kg ha^{-1} de fósforo (expresado como P_2O_5) se reducía el número de plantas emergidas. Además, considera que se puede afectar la efectividad del inoculante, de esta forma se perderá la capacidad de formar nódulos en la raíz principal de la planta en los primeros estadios, que es donde se forman los nódulos más productivos. Estos dos aspectos podrían traducirse en un menor rendimiento, de esta forma no se lograría el efecto esperado del fertilizante.

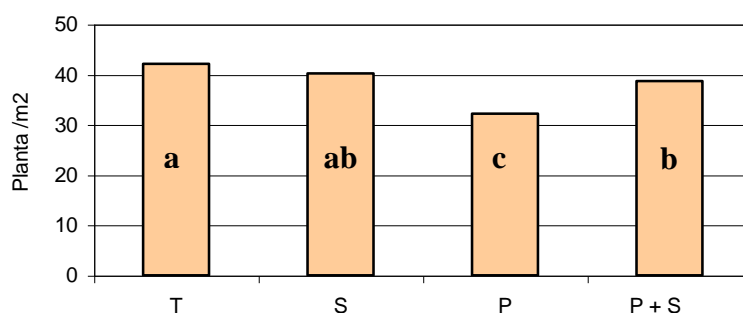


Figura 2: Número de plantas a cosecha, según fertilización. Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Materia seca

La acumulación de materia seca en R5 (93 días después de la siembra - DDS) está relacionada directamente con el rendimiento y es el punto de inflexión en el que se

diferencian los genotipos de alto con los de bajo rendimiento en los tipos precoces (Xiaobing *et al.*, 2005). Lograr una buena cobertura vegetal es importante para que el cultivo pueda capturar toda la radiación incidente, para ello debe haber desarrollado un área foliar (AF) tal que le permita cubrir bien el suelo (Gutiérrez Boem y Thomas, 2001).

En esta experiencia (Fig. 3), con un cultivar de grupo de madurez V intermedio, se observó que el peso seco (PS) de las hojas en R5 fue significativamente mayor con la aplicación de P que con S o la combinación de ambos nutrientes, inclusive el testigo.

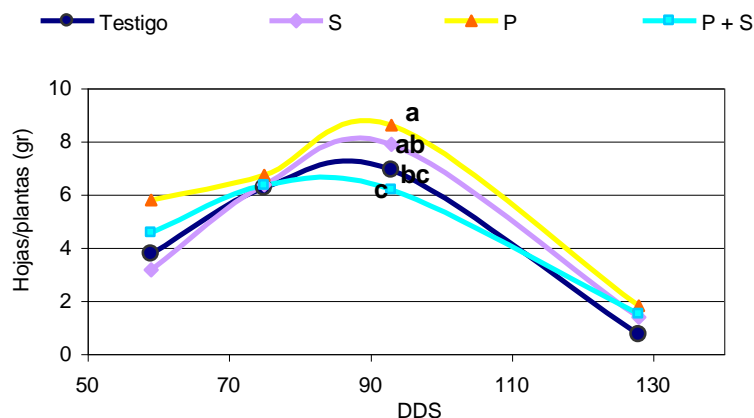


Figura 3: Evolución del peso seco de hojas por planta en días después de la siembra (DDS) según fertilización.

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

En esta experiencia se ha observado diferencias en los primeros estadios reproductivos y según Gutiérrez Boem y Thomas (2001) una buena cobertura a floración va a depender, entre otros factores, de la disponibilidad de P del suelo. Esta es importante para que el cultivo pueda capturar toda la radiación incidente.

Se ha observado que la deficiencia de P afecta principalmente la expansión foliar la que determina el AF (Fredeen *et al.*, 1989) y una reducción del índice del área foliar (Gutiérrez Boem y Thomas, 1999). Por otro lado, existe una relación positiva entre la acumulación de materia seca en las hojas y el AF (Piretro, 2004), la que está directamente relacionada a la cobertura del suelo que depende, entre otros factores, de las características del cultivar y de la disponibilidad de P en el suelo. Una deficiencia de este nutriente disminuye tanto la velocidad de aparición de las hojas como su tamaño, incluso cuando la deficiencia fosforada no es tan severa como para disminuir en forma importante la formación del AF, la eficiencia con que el cultivo hace uso de la radiación capturada puede ser afectada (Gutiérrez Boem y Thomas, 1999). Además, se observó que las hojas de las plantas que no fueron fertilizadas eran de menor tamaño y tenían una coloración más clara, coincidiendo con lo observado por Gutiérrez Boem y Thomas (1999).

El PS de los pecíolos (Fig. 4) sólo fue modificado en el estado reproductivo R5, cuando se observaron diferencias estadísticamente significativas con la aplicación de P,

comparativamente con los otros tratamientos, coincidiendo con lo observado por Frefeen *et al.* (1989). Este mayor peso puede haber sido debido a la mayor cantidad, densidad y/o longitud de los mismos, ya que el P ayuda a la división celular en las plantas (Agropec star, 2006).

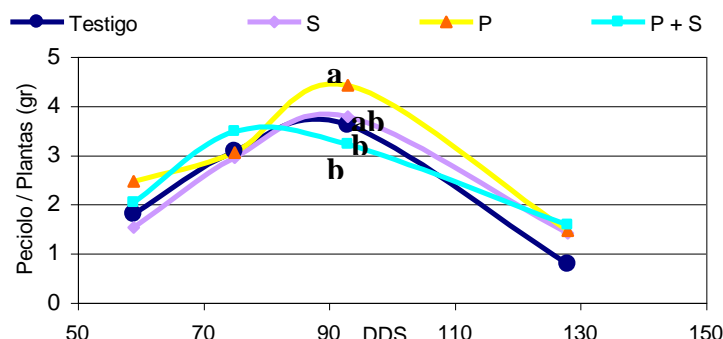


Figura 4: Evolución del peso seco de pecíolos por planta en días después de la siembra (DDS) según fertilización.

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

La aplicación de P también incrementó el PS de los tallos a partir de R5 comparativamente con la aplicación de S y S+P, esta diferencia entre los tratamientos se mantuvo hasta R7 (128 DDS) (Fig. 5). Estos datos coinciden con lo observado por Frefeen *et al.* (1989).

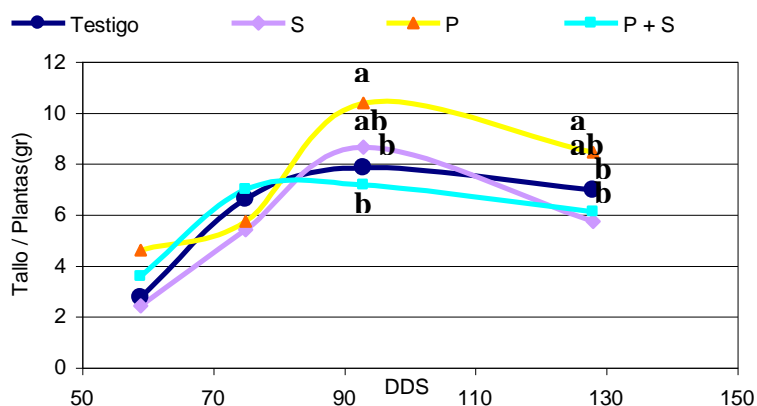


Figura 5: Evolución del peso seco de los tallos por planta en días después de la siembra (DDS) según fertilización.

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

Este efecto del P sobre el tallo es lo mismo que sobre los pecíolos, haciendo que los entrenudos sean más largos ya que el P ayuda a la división celular en las plantas (Agropec star, 2006); lo que les permitiría captar más radiación en los estratos inferiores, de hecho se observó que las plantas de las parcelas fertilizadas tenían un mayor crecimiento.

El peso de la materia seca de los frutos por planta (Fig. 6) en R3 fue mayor con la aplicación de la mezcla de P + S, en cambio en R7 con la aplicación de P. En ambos estadios el menor valor fue observado en las plantas que crecieron con mayor disponibilidad de S.

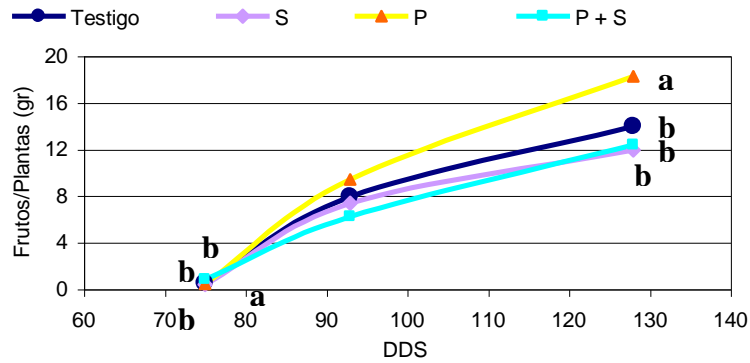


Figura 6: Evolución del peso seco los frutos por planta en días después de la siembra (DDS) según fertilización. Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

El PS total fue mayor con la fertilización fosforada a partir de R5 (Fig. 7), como resultado del incremento del peso de las hojas (Fig. 3), pecíolos (Fig. 4), tallos (Fig. 5) y frutos (Fig. 6). Este resultado coincide con lo observado por Gutiérrez Boem y Thomas (2001).

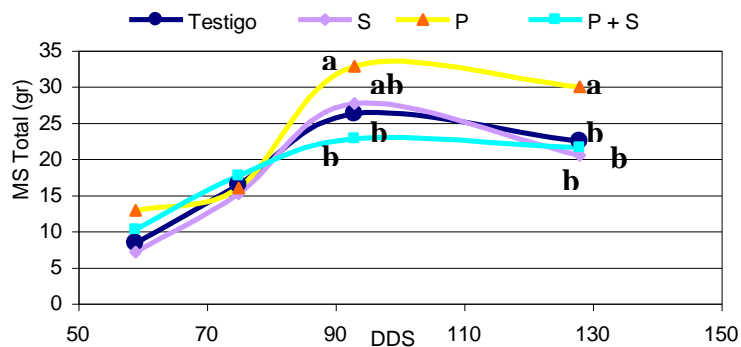


Figura 7: Evolución del peso seco total por planta en días después de la siembra (DDS) según fertilización. Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

El P desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división y crecimiento celular y otros procesos que se llevan a cabo en la planta. Además, promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces (Agropec star, 2006). Es importante destacar que estas diferencias con las plantas que crecieron sin P se constataron en un suelo con 17 ppm de P, contradiciendo lo observado por Echeverría *et al.* (2002), quienes sostienen que con una disponibilidad de P en el suelo (0-20 cm) mayor a 13 ppm la respuesta esperada es cero, así mismo, con valores menores a 12 ppm se podrían producir caídas en los rendimientos mayores al 5 % (Ferraris y Elisei, 2006).

La partición hacia las estructuras reproductivas (frutos y semillas según estado fenológico) no fue modificada por la fertilización tanto con S como con P, ni la combinación de ambos (Fig. 8).

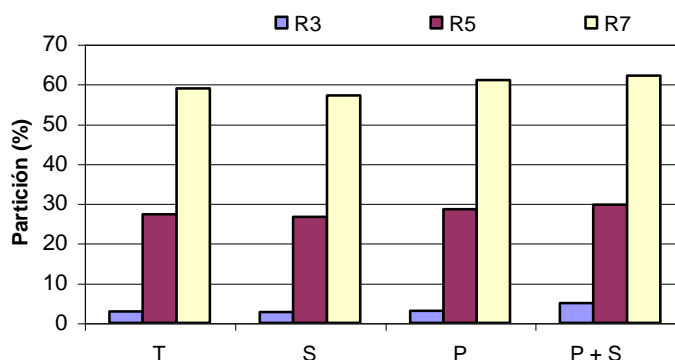


Figura 8: Partición hacia estructuras reproductivas según fertilización. Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Las plantas que tuvieron mayor disponibilidad de P alcanzaron una mayor altura que las del testigo y las del tratamiento con S (Fig. 9), aunque estos valores no fueron significativos. Esta tendencia se condice con el mayor peso seco de los tallos (Fig. 5), ya que el P interviene en la división y alargamiento celular (Agropec star, 2006).

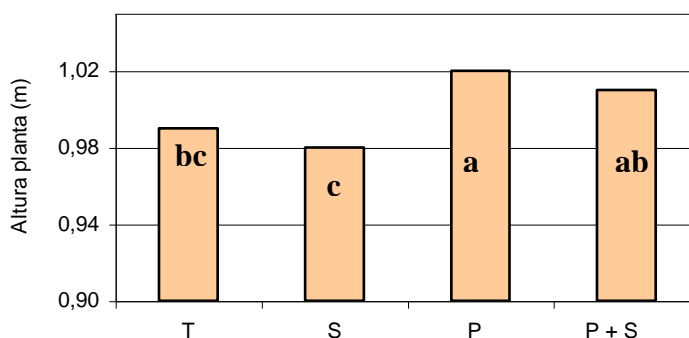


Figura 9: Altura de la planta según fertilización. Letras diferentes indican diferencias significativas al 5 % del test de Duncan.

Componentes del rendimiento

El rendimiento de un cultivo de grano queda definitivamente establecido y puede ser medido recién al finalizar el ciclo del cultivo. Sin embargo, el mismo se genera a lo largo de toda la ontogenia debido al aporte que van realizando las distintas estructuras que lo componen. Entonces, dentro de este marco, es posible concebir al rendimiento como un conjunto de componentes que se van generando durante el desarrollo del cultivo, quedando cada uno de ellos fijado en determinados momentos del ciclo (Cárcova *et al.*, 2003), por lo cual los componentes del rendimiento se clasifican en directos e indirectos.

Uno de los componentes indirectos del rendimiento es el número de frutos por plantas, y es uno de los aspectos en los que se ha trabajado en el desarrollo de los nuevos genotipos, pero también puede ser modificado por las prácticas de manejo que favorezcan la disponibilidad de agua y nutrientes. En esta experiencia (Fig. 10) se ha observado que las plantas que no fueron fertilizadas tuvieron el mayor número de frutos totales y con granos pero también el mayor número de frutos vanos. Por otro lado las plantas que fueron fertilizadas con S tuvieron el menor número de frutos totales y con granos. En cambio la fertilización fosforada redujo el número de frutos vanos (8.2 %) comparativamente con el testigo (10.9 %), posiblemente debido al efecto del P sobre la acumulación de sustancias de reserva, pues se ha observado que este nutriente mejora la eficiencia fotosintética (Lauer *et al.* citados por Marshner, 1997), aumenta la acumulación de sacarosa (Fredeen *et al.*, 1989) y aumenta el crecimiento radicular (Gutiérrez Bohem y Tomas, 1999). Además, el número de destinos es influenciado por las características de la fuente y existe una relación entre ambos, definiendo la diferencia en el rendimiento en los genotipos de semillas grandes y pequeñas (Egli y Zen-Wuen, 1991).

Considerando este componente indirecto del rendimiento por unidad de superficie (Fig.11) se ha observado que tanto el número de frutos totales como los que tenían granos y los vanos fue mayor en el testigo y menor con la aplicación de S, repitiéndose el mismo comportamiento que por planta a excepción de los frutos vanos. La proporción de frutos vanos no fue diferente entre tratamientos (datos no mostrados).

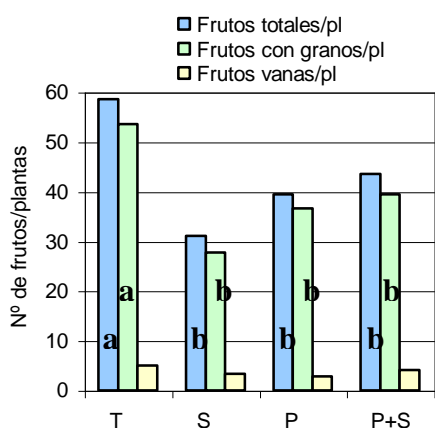


Figura 10: N° de frutos totales, con granos y vanos por plantas según fertilización.

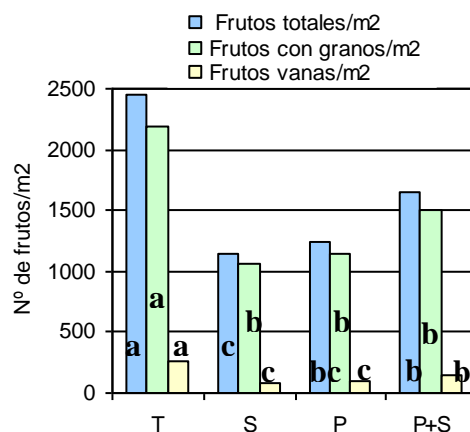


Figura 11: N° de frutos totales, con granos y vanos por superficie según fertilización.

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

Puesto que el rendimiento es un atributo sumamente complejo, puede subdividírsele en componentes más sencillos, que resulten más fáciles de comprender y, por lo tanto, de

manejar. Puede entenderse al rendimiento como el producto de dos componentes directos: el número de granos por unidad de superficie y el peso de los granos.

El número de semillas -que es el componte del rendimiento relativamente más importante- presentó diferencias significativas cuando se evaluó este parámetro por planta (Fig. 12), sólo entre el tratamiento con S y el testigo. En cambio por superficie (m²) (Fig. 13) se observó una tendencia a incrementar con la fertilización y fue mayor con la aplicación de P. No habría una relación directa con el número de frutos por planta (Fig. 10) y por superficie (Fig. 11), pues se debe haber producido un menor número de semillas por frutos (parámetro no evaluado), con lo cual se puede inferir que estos nutrientes han modificado la eficiencia. Gutiérrez Boem y Thomas (1999) observaron un incremento de este componente del rendimiento con el agregado de P en un suelo con 4.2 ppm, valores muy inferiores a los registrados en esta experiencia (17 ppm).

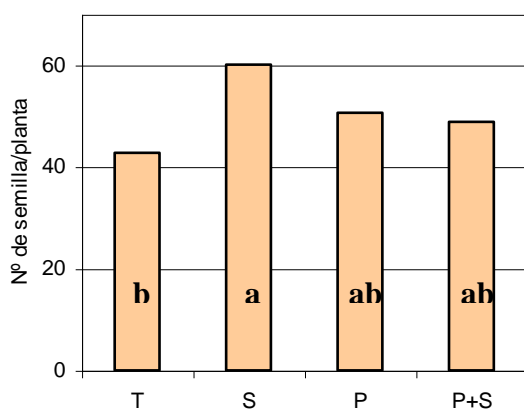


Figura 12: Número de semillas por plantas según fertilización.

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

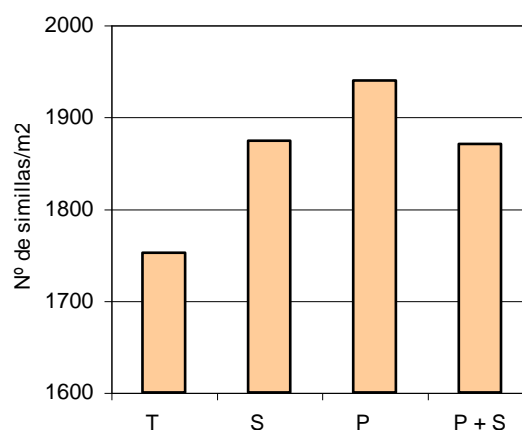


Figura 13: Número de semillas por m² según fertilización.

Con respecto al otro componente directo del rendimiento, se observó que el peso de 100 semillas presentó diferencias significativas entre tratamientos (Fig. 14); el mayor peso se alcanzó con la aplicación de S, tanto solo como con el agregado de P. No habría una relación directa con la acumulación de materia seca en las hojas (Fig. 3) y la total (Fig. 7), pues estos parámetros fueron mayores con el agregado de P. Entonces, se podría relacionar al efecto del S sobre el metabolismo del N en la planta, pues la mayor disponibilidad de este nutriente mejora la nodulación (Cordone y Martínez, 1999). Cuando esta se produce tempranamente podría haber incrementos en el rendimiento, este efecto sería el resultado de la acción del S sobre la síntesis de proteínas (aminoácidos esenciales cistina, cisteina y metionina) y/o del mayor abastecimiento de N al cultivo por la mejor actividad simbiótica (Cordone y Martínez, 1999).

Los resultados obtenidos no coinciden con lo observado por Gutiérrez Boem y Thomas (1999), pues ellos registraron una reducción del peso de las semillas con deficiencia de P, en cambio en esta experiencia la aplicación de este nutriente no incrementó el peso.

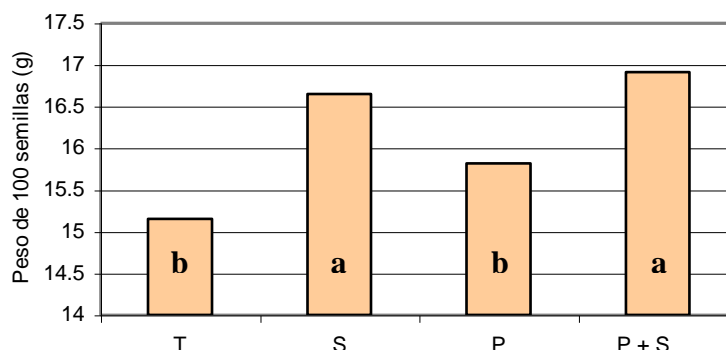


Figura 14: Peso de 100 semillas según fertilización.

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

En el Cuadro 1 se visualiza el efecto del P y del S sobre los componentes directos e indirectos del rendimiento. Considerando que el número de semillas por planta está relacionado con componentes indirectos: número de frutos por planta y de semillas por fruto. En esta experiencia, no se observó una relación directa entre los componentes evaluados, pues con la aplicación de S se incrementó el componente directo y se redujo el indirecto comparativamente con el testigo. Por lo cual se puede inferir que el S tuvo un efecto positivo sobre la eficiencia de fijación de semillas (mayor número de semillas por fruto). Con respecto a los componentes directos del rendimiento por superficie no fueron influenciados por las modificaciones de los componentes indirectos.

Cuadro 1: Número de plantas m^{-2} y de frutos por planta y por m^{-2} , y peso de 100 semillas según fertilización.

Fertilizantes	N° pl m^{-2}	N° Frutos			Semillas	
		totales pl^{-1}	con granos pl^{-1}	vanos pl^{-1}	N° pl^{-1}	Peso de 100
T	42.11 a	58.62 a	53.6 a	5.03	42.81 b	15.15 b
S (40 kg)	40.22 ab	31.11 b	27.74 b	3.37	60.15 a	16.65 a
P (40 kg)	32.22 c	39.38 b	36.6 b	2.78	50.62 ab	15.82 b
P+S (40 + 40 kg)	38.67 b	43.59 b	39.49 b	4.10	48.85 ab	16.91 a

	N° pl m^{-2}	totales m^{-2}	con granos m^{-2}	vanos m^{-2}	N° m^{-2}	Peso de 100
T	42.11 a	2449.28 a	2183.68 a	265.6 a	1752.26	15.15 b
S (40 kg)	40.22 ab	1150.56 c	1062.72 b	87.84 c	1873.86	16.65 a
P (40 kg)	32.22 c	1248.96 bc	1151.52 b	97.44 c	1939.41	15.82 b
P+S (40 + 40 kg)	38.67 b	1652.48 b	1498.24 b	154.24 b	1870.77	16.91 a

La fertilización fosfatada en un suelo con 17 ppm de P no favoreció el desarrollo de frutos totales y con granos por planta y por superficie, pero es para destacar el bajo número de frutos vanos por planta aunque disminuyeron proporcionalmente por superficie (55 % vs 36 %). Considerando los componentes directos del rendimiento, comparativamente con el testigo, incrementó el número de semillas por planta (18 %) y por superficie (7 %), en cambio el peso de 100 semillas no fue diferente estadísticamente, aunque fue 0.67 gr mayor que el testigo.

La aplicación conjunta de P + S no tuvo un efecto diferente de la aplicación sola de ambos nutrientes en el desarrollo de frutos como en el número de semillas, tanto por planta como por superficie. En cuanto al peso de las 100 semillas fue relativamente alto, siendo 1.76 gr mayor que el testigo y 1.09 gr mayor que la fertilización de P solo.

Rendimiento

El rendimiento no fue modificado significativamente por la aplicación de fertilizante, aunque se observó una tendencia a incrementarlos con la aplicación de P+S (Fig. 15), los que fueron superiores en 512 kg ha⁻¹ con respecto al testigo. Estos resultados coinciden con los observados por Ferraris y Elisei (2006) quienes constataron, en un suelo con características semejante al de este estudio (14.6 ppm de S y 17.6 ppm de P), que el incremento de los rendimientos era mayor cuando se aplicaron ambos nutrientes en forma conjunta que por separado. Estos autores observaron que el efecto del S fue independiente de la fuente (sulfato de calcio y sulfato de amonio), aunque no se especifican los genotipos evaluados. También García (2000) constató efecto positivo de la aplicación combinada de S+P (670 kg ha⁻¹ más que el testigo). Esto estaría evidenciando una interacción positiva entre estos dos elementos.

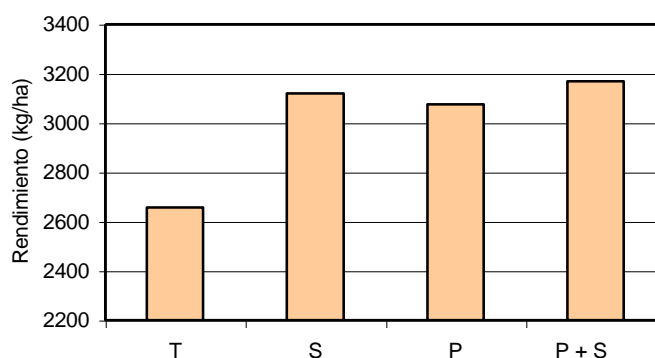


Figura 15: Rendimiento según fertilización.

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

La fertilización con S tuvo una tendencia de superioridad sobre el testigo (463 kg ha⁻¹), pero no significativamente (Fig. 15 y Cuadro 2). En otros estudios se observaron incrementos de los rendimientos con valores (14 y 18 ppm) próximos a los registrados en esta experiencia (15 ppm) (Gutiérrez Boem *et al.*, 1999). Según Cordone y Martínez (1999) este efecto puede ser debido a la mayor nodulación temprana que favoreció el abastecimiento de N al cultivo -mejor actividad simbiótica- y la disponibilidad de S para la síntesis de proteínas con aminoácidos azufrados. Según García (2000), la respuesta a la fertilización con S solamente se observa cuando se cubren los requerimientos con P sea con el del suelo o con la del fertilizante, considerando que para producir 3.000 kg ha⁻¹ se requieren 80 kg N tn⁻¹, 8 kg P tn⁻¹ y 7 kg S tn⁻¹.

Según Gutiérrez Boem y Scheiner (2003) la deficiencia de P puede provocar reducción del rendimiento por disminución de la fuente. En esta experiencia, la mayor materia seca acumulada (Fig. 7) no se tradujo en incrementos significativos de los rendimientos aunque el tratamiento con P fue superior al testigo en 419 kg ha⁻¹ (Fig. 15 y Cuadro 1). En otros estudios, no se observaron respuestas a la aplicación de P en suelos con valores de 12 ppm, pero sí con niveles de P de 5 ppm (Gutiérrez Boem *et al.*, 1999) y 4.2 ppm (Gutiérrez Boem y Thomas, 1999). Estos autores además, observaron que efecto positivo de la fertilización sobre el rendimiento ocurre cuando el cultivo no sufre estrés hídrico, como ocurrió en esta experiencia (Fig. 1).

En el Cuadro 2 se visualiza el efecto proporcional del P y del S sobre el rendimiento y sus componentes. Cada componente fue afectado en forma diferente por la fertilización.

Cuadro 2: Rendimiento y sus componentes, según fertilización con P y S.

Fertilización	Plantas m ⁻²		Semillas m ⁻²		Peso 100 semillas		Rendimiento	
	Nº	%	Nº	%	g	%	kg ha ⁻¹	%
T	42.11 a	100	1752.26	100	15.15 b	100	2656.09	100
S (40 kg)	40.22 ab	95.5	1873.86	106.9	16.65 a	109.9	3119.10	117.4
P (40 kg)	32.22 c	76.5	1939.41	110.7	15.82 b	104.4	3075.23	115.8
P+S (40 + 40 kg)	38.67 b	91.8	1870.77	106.7	16.91 a	111.6	3168.64	119.3

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

Comparativamente con el testigo, el número de plantas por superficie fue reducido con la aplicación de los fertilizantes, aunque el efecto fue mayor con el fosforado (23.5 % menor). En cambio, el número de semillas por metro cuadrado fue mayor con la aplicación de P (10.7 % mayor) y el peso de las 100 semillas con la mezcla de P+S (11.6 % mayor). Como resultado de estas modificaciones en los componentes el rendimiento alcanzó los mayores valores con la aplicación conjunta de P+S (19.3 %). Considerando esta aplicación, se observó un incremento del 2 % en los rendimientos con respecto a la aplicación de S y del

3.5 % con la de P, lo que estaría evidenciando una interacción positiva entre estos dos elementos (Ferraris y Elisei, 2006).

Análisis Financiero Marginal

Considerando los costos (Cuadro 3), el mayor margen lo deja el tratamiento con S, igual que el rendimiento (qq ha⁻¹), pero si se considera la sustentabilidad, es preferible la aplicación de P+S, ya que seguiría manteniendo los niveles de P que tiene el suelo y estaría cubriendo los requerimiento del cultivo.

Cuadro 3: Análisis marginal

	Testigo	S	P	P+S
Rendimiento Marginal	2656.09	463.01	419.14	512.55
Costos de Fertilizantes (\$ ha ⁻¹)		17.248	46.32	63.568
Costo por dif de siembra (\$ ha ⁻¹)		3	3	3
Costo Marginal (\$ ha ⁻¹)		20.25	49.32	66.57
Ingreso Marginal (\$ ha ⁻¹)		231.5	209.57	256.27
Margen (\$ ha ⁻¹)		211.25	160.25	189.7
qq ha ⁻¹		4.22	3.2	3.79

Precio de soja: 50 \$/qq

qq/ha: considerando los gastos por encima del testigo.

CONCLUSIÓN

El peso seco de los órganos aéreos del cultivo de soja, grupo de madurez V intermedio, estuvo influenciado por el efecto del P. El número de plantas fue reducido posiblemente por el efecto del fertilizante fosforado. El número de semillas por metro cuadrado fue levemente mayor con la fertilización, principalmente con la aplicación de P, y el peso de las 100 semillas se incrementó con la mezcla de P+S. Como resultado de las modificaciones en estos componentes, la fertilización provocó un aumento no significativo del rendimiento, principalmente con la mezcla de P+S, lo que estaría evidenciando una interacción positiva entre estos dos elementos. Sería conveniente continuar estos estudios para validar los resultados obtenidos en esta experiencia.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- AGROPEC STAR. 2006. Fósforo. En: _____. *Agronomía*. Cap. 4. 15 p. En: www.agropecstar.com/portal/doctos/agronomia4.htm. Consultado: 02/07/06.
- ANDRIULO, A., J. GALANTINI, F. ABREGO Y F. MARTINEZ. 1996. Exportación y balance edáfico de nutrientes después de ochenta años de agricultura continua. 13° **Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo**. Aguas de Lindoia, Sao Paulo, Brasil.
- BOSCHETTI, N.G., C.E. QUINTERO, R.A. BENAVIDEZ y L. GUIFFRE. 2001. Destinos de fósforo proveniente de diferentes fuentes de fertilizante fosfatado en suelos de la provincia de Entre Ríos. **Revista científica Agropecuaria**. FCA – UNER. 5: 23 – 30.
- CÁRCOVA, J., L.G. ABELEDO y M. LOPEZ PEREIRA. 2003. Análisis de la generación del rendimiento: crecimiento, partición y componentes. En: Satorre, E. *et al.* **Producción de granos. Bases funcionales para su manejo**. FAUBA. Cap. 6. p: 75-98.
- CORDONE, G. y F. MARTINEZ. 1999. Fertilización Azufrada. **Revista Agromercado** N° 40. Cuadernillo Soja. p: 11-14.
- ECHEVERRÍA, H., G. FERRARIS, G. GERSTER, F. GUTIÉRREZ BOEM y F. SALVAGIOTTI (Ex aequo). 2002. Fertilización en Soja y Trigo-Soja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. Resultados de la red de ensayos del Proyecto Fertilizar-INTA. Campaña 2000/01 y 2001/02. INTA EEA Pergamino. 43 p.
- EGLI, D.B. 1998. Seed Biology and the yield of grain crops. **Cab International**. p: 70.
- EGLI, D.B. y Y. ZHEN-WEN. 1991. Crop growth rate and seed number per unit area in soybean. **Crop Sci**. 31: 439–442.
- FERRARIS, G. y J. ELISEI. 2006. Fertilización en Soja: Experiencias en el Norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe. En: www.elsitioagricola.com/articulos/ferraris/FertilizacionenSoja-ExperienciasenelNorte. Consultado: 16/08/06.
- FREDEEN, L., I. MADHUSUDANA RAO y N. TERRY. 1989. Influence of Phosphorus Nutrition on Growth and Carbon Partitioning in *Glycine max*. Department of Plant and Soil Biology, University of California, Berkeley, CA. En: www.plantphysiol.org/cgi/content/abstract/89/1/225. Consultado: 16/08/06.
- GARCÍA, F. 2000. Requerimientos nutricionales de los cultivos. Fertilidad 2000. INPOFOS. En: www.inta.gov.ar/CONCEPCION/info/hie/01/22.htm. Consultado: 16/08/06.
- GIORDA, L.M. 1998. La soja en la Argentina. En: GIORDA, L.M. y H.E.J. BAIGORRI (eds.) **El cultivo de la soja en Argentina**. INTA EEA M. Juárez y Manfredi. Cap. 1. p: 11-28.
- GONZÁLEZ, N., A. PERTICARI, B. STEGMAN de GURFINKEL, B y E. RODRÍGUEZ CACERES. 1997. Nutrición nitrogenada. En: GIORDA, L. y H. BAIGORRI (eds.) **El Cultivo de Soja en la Argentina**. INTA EEA M. Juárez y Manfredi. Cap. 9. p: 187-198.

- GUTIÉRREZ BOEM, F.H. y J.D SCHEINER. 2003. Fertilización fosforada del cultivo de soja. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, U.B.A En: [www.elsitioagricola.com/articulos/gutierrezboem/Fertilización Fosforada del Cultivo de Soja.asp](http://www.elsitioagricola.com/articulos/gutierrezboem/Fertilización_Fosforada_del_Cultivo_de_Soja.asp). Consultado 25/11/03.
- GUTIÉRREZ BOEM, F.H., J.D. SCHEINER y R.S. LAVADO. 1999. Identifying Fertilization Needs for Soybean in Argentina. **Better Crops International**. 13(2): 1-2.
- GUTIÉRREZ BOEM, F.H. y G.W. THOMAS. 1999. Phosphorus nutrition and water deficits in field-grown soybeans. **Plant and Soil**. 207(1): 87-96.
- GUTIÉRREZ BOEM, F.H. y G.W. THOMAS. 2001. Leaf area development in soybean as affected by phosphorus nutrition and water deficits. **Journal Plant Nutrition**. 24(11): 1711-1729.
- HARTWIG, E.E. y T.C. KILEN. 1991. Yield and composition of soybean seed from parents with different protein, similar yields. **Crop Sci**. 31:290-292.
- MARSCHNER, H. 1997. Functions of mineral nutrients: Macronutrients. En: _____. **Mineral nutrition of higher plants**. 2da. Ed. London. UK. Cap. 8. p: 229-312.
- MARTÍNEZ, F. 1999. Nitragim Argentina, Testimonios. AAPRESID 1999. s/p.
- MARTÍNEZ, F. y G. CORDONE. 2000. Avances en el manejo del azufre: novedades en respuesta y diagnóstico en trigo, soja y maíz. Jornada de actualización para profesionales. Rosario, Abril de 2000. p: 28-30.
- PERGOLINI, S. 2006. Diferentes Modelos de Siembra y Fertilización con Azufre del Cultivo de Soja en un Sector de Lomas. En: [www.elsitioagricola.com/articulos /pergolini/DiferentesModelosdeSiembraFertilizacion](http://www.elsitioagricola.com/articulos/ pergolini/DiferentesModelosdeSiembraFertilizacion). Consultado: 12/08/06.
- PIRETRO, E. 2004. Comportamiento de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) de crecimiento determinado en fecha de siembra tardía. Trabajo Final de Grado. FAV – UNRC. 20 p.
- SAGPYA. 2005. Dirección de coordinación de delegaciones, estimaciones agrícolas. En: www.sagpya.gov.ar. Consultado: 28/12/05.
- THOMAS, W.G. 1989. The soil bank account and the farmer's bank account. **Journal of production agriculture**. 2:122-124.
- TISDALE S., W. NELSON, J. BEATON y J. HAVLIN. 1993. Soil fertility and fertilizers. Mac Millan Pub. Co. New York, EE.UU. 5ª Edición. 634 p.
- VIVAS, H.S. y F. SEFFINO. 1998. Localización del P, dosis y fuentes sobre el número de plantas de soja. Campaña 1996-97. Soja. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelanea N° 86.
- 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.