

Pontificia Universidad Católica Argentina



**Efecto de la nutrición del cultivo de soja sobre el
rendimiento, sus componentes y la calidad del
grano en Baradero, provincia de Buenos Aires”**

Trabajo final de graduación para optar por el título de:

Ingeniera Agrónoma

Alumna: Solange Campiutti

Tutora: Ing. Agr. Inés Davèrède

Modalidad: experimental

Año: 2019

Resumen

En las últimas dos décadas, el mejoramiento genético de la soja se enfocó en el aumento de rendimiento, causando una merma paulatina en el porcentaje de proteína en grano. Por ello, en este ensayo se analizará el efecto de distintos fertilizantes sobre la calidad (proteína y aceite), el rendimiento en la soja y sus componentes (peso y número de granos), así como una correlación entre estas variables. El ensayo se realizó en la localidad de Baradero, Buenos Aires. El mismo contó con siete tratamientos y cuatro repeticiones dispuestas en un diseño en bloques completos aleatorizados. Los tratamientos fueron los siguientes: 1: Testigo, 2: Efecto fósforo (P) (22 kg de P ha⁻¹), 3: Efecto P+ azufre (S) (22 kg de P + 13,2 kg de S ha⁻¹), 4: Efecto boro (B) (22 kg de P + 13,2 kg de S + 100 g B foliar en R1-R2 ha⁻¹), 5: Efecto nitrógeno (N) foliar (22 kg de P + 13,2 kg de S + 100 g de B + 10 kg de N foliar en R5 ha⁻¹), 6: Efecto doble dosis de P y S (44 kg de P + 26,4 kg de S ha⁻¹), 7: Efecto FETRILON (22 kg de P + 13,2 kg de S + 10 kg de macro y micronutrientes foliar FETRILON en R1-R2 ha⁻¹). El efecto del S (13,2 kg de S ha⁻¹) se calculó como la diferencia entre el tratamiento 3 y el tratamiento 2.

La aplicación de P produjo una respuesta de 595 kg ha⁻¹ en rendimiento con respecto al testigo. En el caso de la aplicación de P y S, la respuesta fue de 757 kg ha⁻¹ y la doble dosis de P y S produjo el mayor incremento que promedió 1062 kg ha⁻¹ respecto al testigo. En cuanto al peso de 1000 granos, el mismo aumentó 31,8 g con la dosis de P y S con respecto al testigo, pero disminuyó 24,5 g con la aplicación de B, 21,3 g con la doble dosis de P y S y 23,5 g con la aplicación de S y FETRILON. El número de granos aumentó 258 g m⁻² con el tratamiento de P, 459,3 g m⁻² con la doble dosis de P y S y 268,5 g m⁻² con el agregado de B foliar. En lo que respecta al porcentaje de proteína, la aplicación de S y la de P y S lo aumentó en 1,18 y 1,03 puntos porcentuales, respectivamente. Por otro lado, la aplicación de B disminuyó el porcentaje de proteína en 0,58 puntos porcentuales. Mientras que la aplicación de una doble dosis de P y S también disminuyó el porcentaje de proteína en 0,92 puntos porcentuales. Con respecto al porcentaje de aceite, la aplicación de P y S y la de S lo disminuyó en 0,38 y 0,45 puntos porcentuales, respectivamente, mientras que el tratamiento con doble dosis de P y S lo aumentó en 0,40 puntos porcentuales. En este ensayo se pudo demostrar que a través de la fertilización con P y S es posible aumentar el rendimiento y el porcentaje de proteína simultáneamente en el grano de soja.

Agradecimientos

En primer lugar, a mi tutora de tesis, la Ing. Agr. Inés Davèrède, por ayudarme en todo momento, tanto en la parte experimental a campo como en la redacción de este trabajo.

En segundo lugar, agradezco a Bunge S.A por entregarnos de forma gratuita los fertilizantes y por hacerse cargo de los análisis de las muestras de suelo en Tecnoagro S.R.L. También agradezco a la Bolsa de Comercio de Rosario por analizar el porcentaje de proteína y aceite de las muestras.

En tercer lugar, agradezco a mi familia y amigos por ayudarme durante el desarrollo de mi tesis y de mi carrera. En especial le quería dar también las gracias al Dr. Mariano Campiutti, quien realizó la siembra y me ayudó tanto en las fertilizaciones como en la cosecha.

En cuarto lugar, quería agradecerle a la facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias por haberme brindado los conocimientos y las técnicas adecuadas para poder desarrollar con éxito mi trabajo final de graduación.

Índice

1.	Introducción.....
.....5	

1.1	Hipótesis de	
trabajo.....		8
2.	Objetivos.....	9
2.1	Objetivo	
general.....		9
2.2	Objetivos	
específicos.....		9
3.	Materiales y	
Métodos.....		9
3.1	Caracterización del sitio	
experimental.....		9
3.2	Descripción del modelo	
experimental.....		10
3.3	Cosecha.....	11
3.4	Análisis	
estadístico.....		11
4.	Resultados.....	12
4.1	Rendimiento.....	12
4.2	Peso de mil	
granos.....		13
4.3	Numero de	
granos.....		14
4.4	Proteína.....	16
4.5	Aceite.....	17
5.	Discusión.....	19
6.	Conclusiones.....	21

7.	Bibliografía.....	
	23
8.	Anexos.....	
278.1 Análisis de la varianza y contrastes.....	27
	8.2 Protocolo del ensayo.....	29

1. Introducción

La soja es el principal cultivo sembrado en la Argentina, posicionando al país como el primer exportador mundial de aceite y harinas de soja y el tercer exportador mundial de granos, después de los Estados Unidos y de Brasil, constituyendo estas exportaciones la principal fuente de divisas del país. En el mismo se cultivan más de 18 millones de hectáreas de soja. Esto representa un 52% de la superficie total cosechada en la campaña 2016/2017 al compararla con el resto de los cultivos llegando a una producción de 55 Mtn con un rendimiento promedio récord nacional de 3171 kg ha⁻¹ (SIIA, 2016/2017).

El poroto en la región pampeana posee en promedio un 38-42% de proteína y un 20-24% de aceite (Martínez y Cordone, 2015). Se debe tener en cuenta que para la campaña 2014/2015 se obtuvo el valor proteico más bajo en 18 años, siendo este de un promedio de 37,3 % (Cuniberti, 2015).

Durante mucho tiempo, no se tuvo en cuenta la nutrición en el manejo de soja debido a que se creía que su capacidad de respuesta era nula o baja. Pero al transcurrir los años se empezó a observar una disminución en los nutrientes del suelo a causa de la degradación de los mismos por el pasaje de los campos ganaderos a campos netamente agrícolas. A su vez también aumentó la demanda de nutrientes por parte del cultivo, debido a la introducción de nueva genética la cual permitió obtener un potencial de rendimiento

mayor, lo que impulsó a algunos productores a mejorar la nutrición para que no disminuyera el rendimiento (Ferraris y Toribio, 2013/2014).

A nivel productivo, los nutrientes que más limitan el rendimiento son el N, P y S, mientras que los micronutrientes lo suelen hacer en sitios más específicos, como en áreas de alta productividad o de alta degradación química de los suelos (Salvagiotti, 2012).

En primer lugar, el N es el elemento que en mayor medida limita la obtención de un cultivo de alta producción. El requerimiento de la planta es de 75 kg N tn^{-1} , de lo cual extrae en cosecha aproximadamente un 75% del mismo. El uso de fertilizantes con N no suele ser una práctica habitual, esto se debe a que las leguminosas consiguen principalmente este nutriente de la fijación biológica, la cual cubre aproximadamente entre un 50- 80% del N requerido por la planta en la región centro norte de la Argentina. El resto del N requerido por el cultivo es obtenido de la mineralización del N disponible en el suelo. Por otro lado, varios nutrientes como el P, S, Ca y micronutrientes influyen en el proceso de fijación, es por ello que un déficit de estos nutrientes disminuiría la formación de nódulos y consecuentemente la fijación biológica de nitrógeno (FBN). Estudios realizados por Díaz Zorita (2004) muestran un aumento promedio en el rendimiento de 806 kg ha^{-1} a partir de la inoculación, en 21 lotes sin previa historia de soja y de 342 kg ha^{-1} en lotes inoculados con historia previa de soja.

La aplicación de P resulta de gran importancia debido a que este nutriente permite el rápido y correcto crecimiento de la parte aérea, radicular y de los nódulos. Las deficiencias de este nutriente suelen verse traducidas en plantas con hojas más chicas, oscuras y de mayor grosor (Gutiérrez Boem y Thomas, 2001). Estas características influyen en el rendimiento que está determinado principalmente por el número de granos (al afectar el desarrollo del área foliar) (Gutiérrez Boem y Thomas, 1999). Boxler, M y García, F.O. et (2010/2011) a través de varios ensayos, observaron respuestas en el rendimiento con la aplicación de P cuando la disponibilidad del mismo era baja en los suelos, recomendándose umbrales de respuesta de 13 mg kg^{-1} . También otros estudios reportaron entre 175 y 690 kg ha^{-1} de respuesta con el agregado de 30 kg ha^{-1} de P (equivalente a 150 kg ha^{-1} de superfosfato triple) en suelos con contenido de P extractable menores a 17 mg kg^{-1} (Fontanetto y col, 2008). A su vez, ensayos realizados por Ferraris (2002) reportaron que por cada mg P kg^{-1} por debajo de 16 mg kg^{-1} , la respuesta aumentó 50 kg ha^{-1} , pero por encima de 16 mg kg^{-1} la respuesta fue nula.

En cuanto al porcentaje de aceite y proteína, según estudios realizados por Martínez y Cordone (2015), los efectos de distintos tratamientos de fertilización en general tendieron a disminuir la concentración de aceite y a aumentar la concentración de proteína y el Profat. Al examinar cada tratamiento de fertilización, la aplicación de P disminuyó el porcentaje de aceite en cuatro de ocho sitios, pero tendió a aumentarlo en los otros cuatro; a su vez aumentó el porcentaje de proteína y el Profat en siete de esos sitios.

La fertilización azufrada en particular se empezó a realizar hace más de diez años en la región centro norte de Argentina al observarse respuestas a la misma. Esta se suele dar en suelos arenosos normalmente más pobres en materia orgánica y a su vez en zonas que han sufrido muchos años de agricultura de alta producción. El S es un nutriente que condiciona el crecimiento de la planta debido a las funciones metabólicas y estructurales que este cumple. La deficiencia del mismo afecta a la formación, el crecimiento y el funcionamiento de los nódulos, lo que genera una menor FBN y por ende menos N disponible para obtener una mayor productividad (Divito y Sadras, 2014). Es por ello que para una correcta fertilización se debe tener en cuenta que por debajo de 10 mg kg^{-1} se observan respuestas positivas a la fertilización azufrada. En lo que respecta a la calidad del grano de acuerdo a un estudio realizado por Martínez y Cordone (2015) la aplicación de S tendió a aumentar la concentración de aceite en cinco sitios de trece y a disminuirla en ocho de estos sitios. A su vez tendió a aumentar la concentración de proteína y el Profat en diez y once sitios de los trece estudiados, respectivamente.

El cultivo de soja tiene bajos requerimientos de B, siendo necesarios $0,025 \text{ kg tn}^{-1}$ de grano y solamente un 31% es exportado en la cosecha. Pero a pesar de ser necesario en bajas cantidades, se debe evitar una deficiencia de este nutriente, ya que el mismo interviene en procesos reproductivos favoreciendo la retención floral y el cuajado de las vainas. Como la falta de B se observa en estadios reproductivos, su aplicación se suele realizar entre R1 y R2. Ferraris y Couretot (2006) observaron respuestas en rendimiento con la aplicación de B en conjunto con N a través de un mayor número de granos y no de su peso. También otro estudio realizado por Gambaudo et al. (2011) mostró un incremento en el rendimiento de 264 kg ha^{-1} al aplicar B en R3.

Por último, los micronutrientes tienen la característica particular de ser requeridos por la planta en bajas dosis. Si bien en muchos sitios de la región pampeana los niveles de micronutrientes en el suelo se encuentran por arriba de los umbrales de respuesta, en los

últimos años se empezaron a observar deficiencias de micronutrientes debido a la introducción de nuevos cultivares de alto potencial de rendimiento, lo que generó un incremento en la demanda por parte del cultivo. En el caso de la soja, después de varios ensayos se demostró que los micronutrientes que generan mayor respuesta son principalmente Ca, Mo, Cu, B y Mg después de los macronutrientes N y P. Según Martínez y Cordone (2005), el Co y el Mo son esenciales para una correcta FBN, ya que el Co es precursor de la leg-hemoglobina por formar parte de la vitamina B₁₂ y el Mo es un componente importante de la nitrato-reductasa. En el caso de otros micronutrientes como el Zn y el Cu, las deficiencias afectan el desarrollo normal de la planta. La falta de Zn genera internodios cortos y tallos rígidos, mientras que el Cu produce clorosis en las hojas y una formación desigual del limbo. Cualquier tipo de falta de estos nutrientes generaría una disminución en la tasa fotosintética, lo que se vería traducido en una disminución del potencial de rendimiento.

1.1 Hipótesis de trabajo:

La aplicación de P aumentará el rendimiento, el número de granos, el peso de 1000 granos y el porcentaje de proteína, pero disminuirá el porcentaje aceite en comparación al testigo.

La aplicación de S con una base de P aumentará el rendimiento, el peso de 1000 granos, el número de granos y el porcentaje de proteína, aunque generará un menor de porcentaje de aceite respecto al tratamiento con P y al testigo.

La aplicación de B foliar en R1 aumentará el rendimiento, el número de granos y el porcentaje de proteína, pero disminuirá el peso de 1000 como así también lo hará el porcentaje de aceite en comparación al tratamiento con P y S.

La aplicación de N foliar en R5 aumentará el rendimiento, el número de granos y el porcentaje de proteína, pero disminuirá el peso de 1000 granos y el porcentaje de aceite en comparación al tratamiento base con P, S y B foliar.

La aplicación de una simple y doble dosis de P y S aumentará el rendimiento, el peso de 1000 granos, el número de granos y el porcentaje de proteína, aunque disminuirá el porcentaje de aceite con respecto al testigo.

La aplicación de una combinación de macro y micronutrientes en R1 aumentará el rendimiento, el peso de 1000 granos, el número de granos y el porcentaje de proteína, pero disminuirá el de aceite respecto al tratamiento con P y S.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Este trabajo busca aumentar el porcentaje de proteína en el grano de soja a través de la nutrición del cultivo sin disminuir el rendimiento.

2.2 Objetivos específicos

Analizar los efectos del P, P y S combinado en dosis simples y dobles, B foliar, N foliar y una combinación de macro y micronutrientes sobre el rendimiento, peso de 1000 granos, número de granos y calidad en soja.

3. Materiales y métodos

3.1 Caracterización del sitio experimental

El ensayo se llevó a cabo sobre un Argiudol típico en el establecimiento “La Esperanza” ubicado en la colonia suiza en la ciudad de Baradero, Buenos Aires. (S: 33°48'01.1" O: 59°32'34.4", 41msm).

Antes de comenzar con el ensayo, se tomaron muestras de suelos de 0 a 20cm y de 20 a 40cm para hacer análisis de nutrientes. En la muestra de 0-20cm se analizó el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica, el P Bray 1, Calcio, Magnesio, potasio, sodio, capacidad de intercambio catiónico (CIC), NO₃, N-NO₃, humedad, S-SO₄, boro y zinc. Los resultados fueron los siguientes: pH: 6, CE: 0,2dS/m, MO: 2,52%, P Bray 1: 4,7 mg kg⁻¹, Ca: 7,54 meq/100g, Mg: 1,25 meq/100g, K: 0,75meq/100g, Na: 0,06meq/100g, CIC: 10,8meq/100g, S-SO₄: 2,6 mg kg⁻¹, B: 0,5 mg kg⁻¹ y Zn: 0,7 mg kg⁻¹. También se obtuvo en el análisis la textura del suelo la cual es franco-limosa con 12,5% de arena, 63,5% de limo y 24% de arcilla. Los N-NO₃ de 0-60cm sumaron 63,5 kg ha⁻¹.

El cultivo antecesor en la campaña 2015/2016 fue maíz de primera. La siembra se realizó el 23 de noviembre con la variedad NIDERA 5009, en surcos espaciados a 0,525m.

El control de malezas se realizó un mes antes de la siembra y pre-siembra se aplicó nuevamente debido a la aparición de malezas resistentes. Los productos utilizados fueron: glifosato (2L), dicamba (100cm³) y metsulfuron (8g). Para la segunda dosis se aplicaron glifosato, graminicida, aceite y 2-4d para poder eliminar las malezas más difíciles.

3.2 Descripción del modelo experimental

Tabla 1: Distintos tratamientos aplicados en Baradero, Buenos Aires, durante la campaña 2016/2017

Nro. Tratamiento	Tratamientos	kg ha⁻¹ SFT	kg ha⁻¹ SFS	P kg ha⁻¹	S kg ha⁻¹	N Foliar kg ha⁻¹	Efecto medido
1	Testigo	0	0	0	0	0	
2	P (SFT)	110	0	22.0	0	0	Respuesta a P
3	P y S (SFS)	60	110	22.0	13.2	0	Respuesta a S (con P presente)
4	P y S + 100g B R1-R2	60	110	22.0	13.2	0	Respuesta a B
5	P y S + 100g B R1-R2 + N Foliar 10	60	110	22.0	13.2	10	Respuesta a N foliar baja dosis
6	Doble dosis P y S	120	220	44.0	26.4	0	Respuesta a doble dosis de P y S
7	P y S + 10kg de Fetrilon combi 2 R1-R2	60	110	22.0	13.2	0	Respuesta a micronutrientes Fetrilon

En el ensayo se realizaron siete tratamientos con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental tenía un largo de 5 m por 3 m de ancho (ver esquema 1). Los fertilizantes usados fueron superfosfato simple (0 N-20 P-0 K -12 S- 20 Ca), superfosfato triple (0 N-46 P-0 K-0 S-21 Ca), Foliarsol B (12% N y 4% B), Foliarsol U (20 N-0 P- 0K) y Fetrilon (2% MgO, 2,6% S, 4% Fe, 4% Zn, 3% Mn, 1,5% B, 0,5% Cu, 0,05% Mo, 0,005% Co). En el mes de octubre todas las parcelas fueron fertilizadas pre-siembra al voleo con P o P y S a distintas dosis, a excepción de la testigo. Luego los primeros días de enero (R1) se terminaron de fertilizar las parcelas con los tratamientos 4 y 5, a las cuales se les agregó Foliarsol B (con boro), la cual incluyó además 1,46 kg N ha⁻¹ y a las parcelas con el tratamiento número 7 se lo fertilizó con Fetrilon (micronutrientes). La última fertilización se realizó a principios de marzo con Foliarsol U en R5 para las parcelas que tenían el tratamiento 5 (Ver distribución de tratamientos en el esquema 2). Estas últimas tres aplicaciones se hicieron con un atomizador a velocidad y ritmo constante.

3.3 Cosecha

La misma se realizó el 27/4/2017, de forma manual con una tijera de podar, retirando 2 m² de plantas de cada parcela y luego se trilló de manera mecánica con una cosechadora experimental en San Pedro, provincia de Buenos Aires.

3.4 Análisis estadístico:

El diseño utilizado fue en bloques completos aleatorizados. Los resultados fueron analizados a través del programa infostat, utilizando contrastes pre planificados para comparar los tratamientos dentro de las variables de rendimiento, peso de 1000 granos, número de granos, proteína y aceite. Se consideraron significativas aquellas pruebas con un p-valor < 0,1.

4. Resultados:

Evaluaciones:

1)Testigo
2)Respuesta a P
3)Respuesta a S
4)Respuesta a B
5)Respuesta a N foliar
6)Respuesta a doble dosis de P y S
7)Respuesta a micronutrientes

4.1 Rendimiento:

El año del ensayo presentó temperaturas promedio mensuales de 21,2°C y precipitaciones normales que totalizaron los 683,1 mm en los meses donde creció el cultivo, según INTA EEA San Pedro. El promedio de rendimiento del ensayo fue de 3255 kg ha⁻¹, siendo el tratamiento con doble aplicación de P y S el que obtuvo el mayor rinde (Fig. 1).

Los tratamientos que mostraron aumentos significativos con respecto al testigo fueron la aplicación de P, P y S y doble dosis de P y S, con respuestas de 595, 757, 1062 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2: Contrastes entre los tratamientos para la variable de rendimiento (kg ha⁻¹)

Contrastes	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	
	Contraste	p-valor
Respuesta a P (2 vs 1)	595	0,0204
Respuesta a S (3 vs 2)	162	0,4969
Respuesta a P y S (3 vs 1)	757	0,0046
Respuesta a B (4 vs 3)	176	0,4623
Respuesta a N foliar (5 vs 4)	-208	0,3863
Respuesta a doble dosis de P y S (6 vs 3)	305	0,2095
Respuesta a doble dosis de P y S (6 vs 1)	1062	0,0003
Respuesta micronutrientes(7 vs 3)	6	0,9798

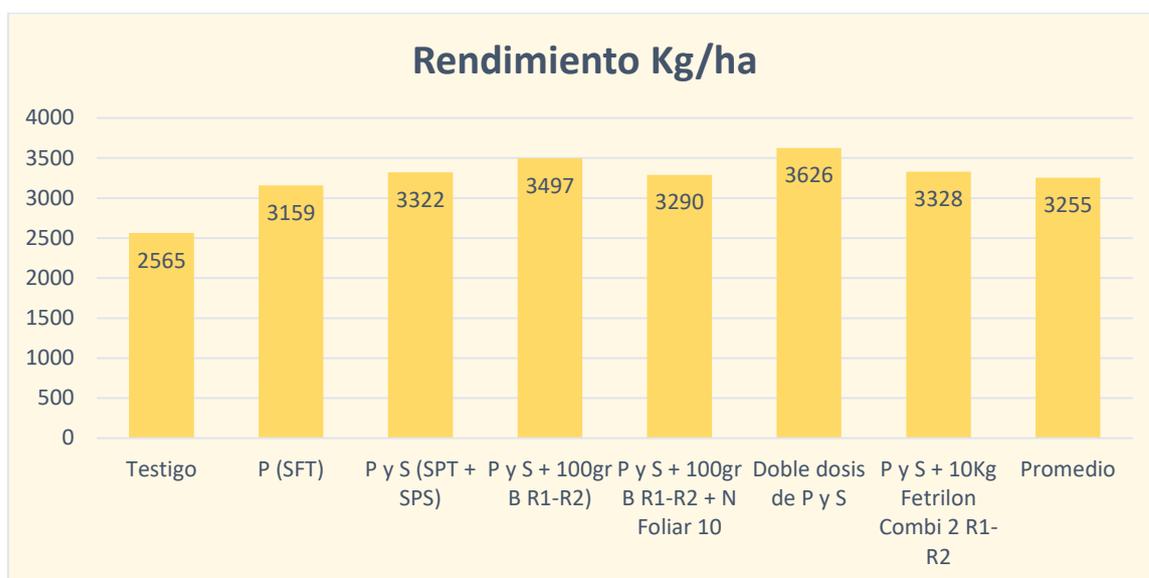


Figura 1: Promedio general de rendimiento en Baradero, Buenos Aires, en la campaña 2016/2017: 1. Testigo, 2. 22 kg de P ha⁻¹, 3. 22 kg de P + 13,2 kg de S ha⁻¹, 4. 22 kg de P + 13,2 kg de S + 100 g B foliar + 1,46 kg de N foliar en R1-R2 ha⁻¹, 5. 22 kg de P + 13,2 kg de S + 100 g de B + 1,46 kg de N foliar en R1-R2 + 10 kg de N foliar en R5 ha⁻¹, 6. Doble dosis de P y S, 44 kg de P + 26,4 kg de S ha⁻¹, 7. 22 kg de P + 13,2 kg de S + 10 kg de Fetrilon foliar en R1-R2 ha⁻¹.

4.2 Peso de mil granos:

La aplicación S sobre la base de P aumentó el peso de mil granos en 25,75g respecto a la aplicación de P sola, mientras que la aplicación de P y S tuvo una respuesta de 31,8g respecto al testigo ($p < 0,1$). El promedio de los tratamientos fue de 199g (Fig. 2).

La aplicación de B redujo el P1000 en 25g, como así también lo hizo la doble dosis de P y S y el agregado de micronutrientes (todos comparados con la dosis simple de P y S), los cuales disminuyeron el P1000 en 21g y 24g, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3: Contrastes entre los tratamientos para la variable de P 1000 (g)

Contrastes	Peso de 1000 granos(g)	
	Contraste	p-valor

Respuesta a P (2 vs 1)	6	0,4030
Respuesta a S (3 vs 2)	26	0,0017
Respuesta a P y S (3 vs 1)	32	0,0003
Respuesta a B (4 vs 3)	-25	0,0026
Respuesta a N foliar (5 vs 4)	5	0,5063
Respuesta a doble dosis de P y S (6 vs 3)	-21	0,0071
Respuesta a doble dosis de P y S (6 vs 1)	11	0,1512
Respuesta micronutrientes(7 vs 3)	-24	0,0035

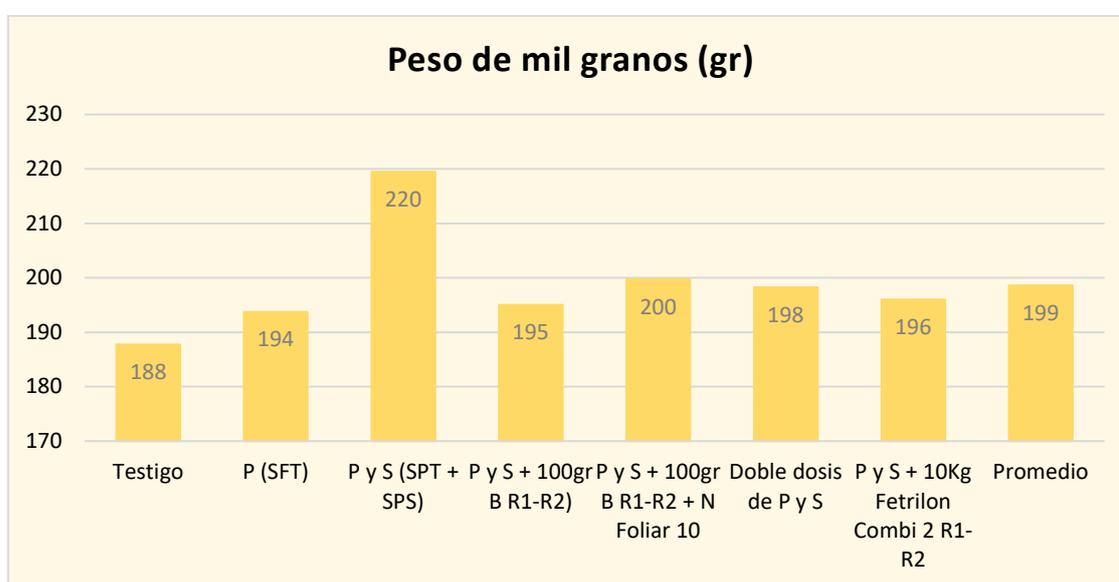


Figura 2: Promedio general de cada tratamiento para la variable de P 1000 Baradero, Buenos Aires.

4.3 Número de granos:

En este caso del número de granos, el promedio del ensayo entre los tratamientos fue de 1642 granos por m^{-2} , resultando significativas las respuestas a P, P y S, B y la doble dosis de P y S (Fig. 3). El tratamiento de P aumentó 258 granos m^{-2} respecto al testigo. Lo mismo ocurrió con la doble dosis de P y S, la cual incrementó el número de granos en 459 granos m^{-2} .

Al comparar el tratamiento de doble dosis de P y S y el de respuesta a B con el tratamiento de P y S, ambos aumentaron el número de granos en 302,5 granos m^{-2} y 268,5 granos m^{-2} , respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4: Contrastes entre los tratamientos para la variable de nro. de granos/m²

Contrastes	Nro. de granos (granos m ² ⁻¹)	
	Contraste	p-valor
Respuesta a P (2 vs 1)	258	0,0795
Respuesta a S (3 vs 2)	-101	0,4751
Respuesta a P y S (3 vs 1)	157	0,2736
Respuesta a B (4 vs 3)	269	0,0689
Respuesta a N foliar (5 vs 4)	-148	0,3020
Respuesta a doble dosis de P y S (6 vs 3)	303	0,0428
Respuesta a doble dosis de P y S (6 vs 1)	459	0,0039
Respuesta micronutrientes(7 vs 3)	169	0,2398

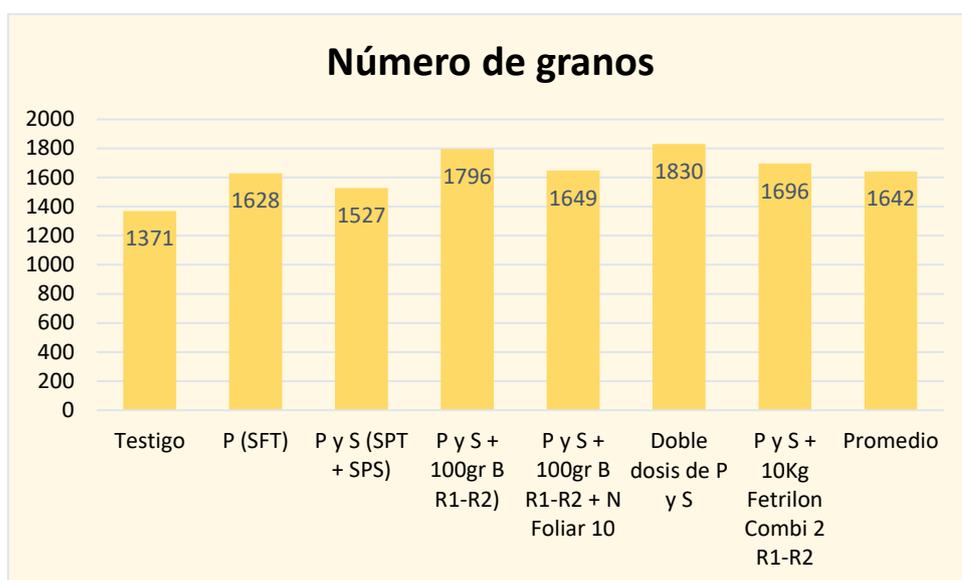


Figura 3: Promedio general de cada tratamiento para la variable número de granos en Baradero, Buenos Aires.

4.4 Proteína:

El porcentaje de proteína promedió 37,6% entre los tratamientos. Hubo respuestas positivas para el tratamiento de S con base P, P y S respecto del testigo, pero respuestas negativas para el B y la doble dosis de P y S (Fig. 4).

El porcentaje de proteína para el tratamiento P + S (3) fue de 38,3%, mientras que el porcentaje de proteína con la aplicación de P solamente (tratamiento 2) fue de 37%. Esto refleja que la aplicación de S por sobre la aplicación de P aumentó el porcentaje de proteína en 1,18 puntos porcentuales. Para el tratamiento de P y S se pudo observar un aumento en la proteína de 1,03 puntos porcentuales respecto al testigo (Tabla 5). La aplicación de B por sobre la base de P y S produjo una reducción en 0,58 puntos porcentuales el porcentaje de proteína (Tabla 5).

En lo que respecta a la doble dosis de P y S (6), se observó un porcentaje de 37,3% de proteína comparado con la respuesta a P y S (3), la cual promedió 38,3%. Esto significa que disminuyó 0,92 puntos porcentuales el porcentaje de proteína del tratamiento 6 respecto del 3 (Tabla 5).

Tabla 5: Contrastes entre los tratamientos para la variable proteína (%)

Contrastes	Proteína (%)	
	Contraste	p-valor
Respuesta a P (2 vs 1)	-0,15	0,6297
Respuesta a S (3 vs 2)	1,18	0,0012
Respuesta a P y S (3 vs 1)	1,03	0,0036
Respuesta a B (4 vs 3)	-0,58	0,0763
Respuesta a N foliar (5 vs 4)	0,10	0,7474
Respuesta a doble dosis de P y S (6 vs 3)	-0,92	0,0073
Respuesta a doble dosis de P y S (6 vs 1)	0,10	0,7474
Respuesta micronutrientes(7 vs 3)	-0,45	0,1584

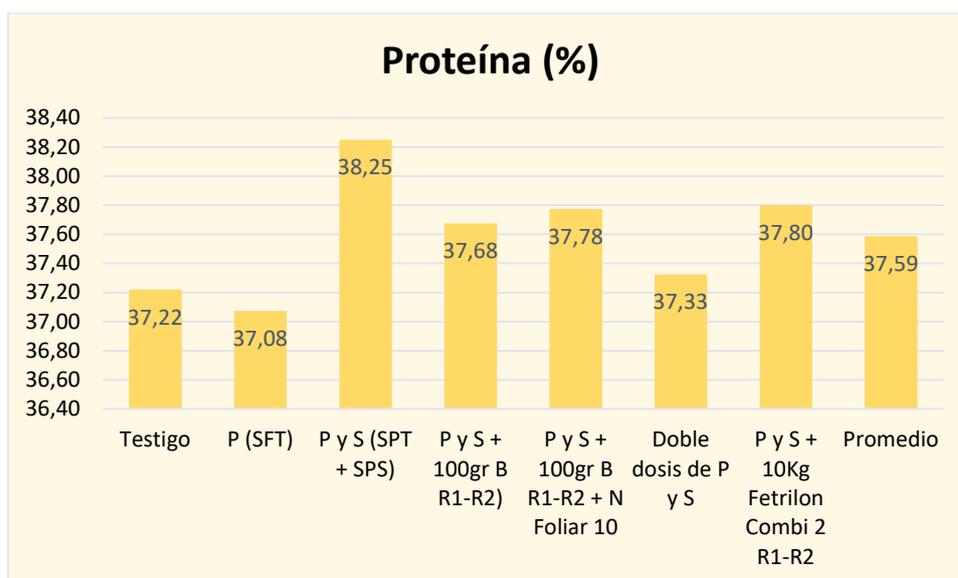


Figura 4: Promedio general de cada tratamiento para la variable proteína en Baradero, Buenos Aires.

4.5 Aceite:

Para el caso del aceite, se obtuvo un promedio entre tratamientos de 23%, con respuestas negativas significativas con la aplicación de P y S respecto a la testigo, pero positivas para la aplicación de doble dosis de P y S (Fig. 5). La aplicación de S redujo en 0,45 p.p. el porcentaje de aceite (Tabla 6). Así también la aplicación de P y S respecto al testigo disminuyó el porcentaje de aceite en 0,38 puntos porcentuales. El único tratamiento que aumentó el porcentaje de aceite fue la doble dosis de P y S (0,4 puntos porcentuales) con respecto a la dosis simple de P y S (Tabla 6).

Tabla 6: Contrastes entre los tratamientos para la variable aceite (%)

Contrastes	Aceite (%)	
	Contraste	p-valor
Respuesta a P (2 vs 1)	0,08	0,5881
Respuesta a S (3 vs 2)	-0,45	0,0039
Respuesta a P y S (3 vs 1)	-0,38	0,0130
Respuesta a B (4 vs 3)	0,07	0,5881

Respuesta a N foliar (5 vs 4)	0,00	>0,9999
Respuesta a doble dosis de P y S (6 vs 3)	0,40	0,0087
Respuesta a doble dosis de P y S (6 vs 1)	0,03	0,8562
Respuesta micronutrientes(7 vs 3)	0,20	0,1586

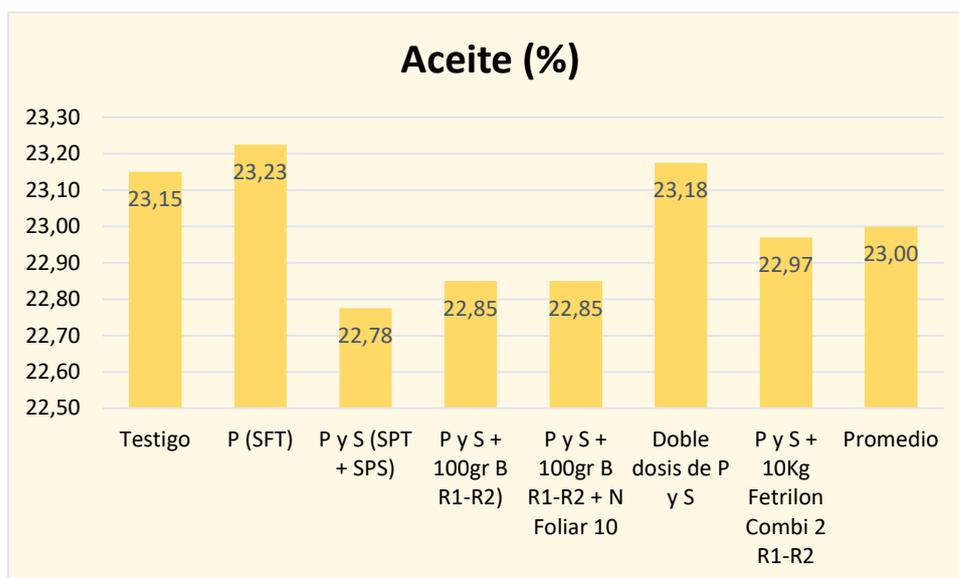


Figura 5: Promedio general de cada tratamiento para la variable aceite en Baradero, Buenos Aires.

5. Discusión:

De acuerdo a la hipótesis planteada para el P, se observó un aumento del rendimiento de 595 kg ha⁻¹ respecto del testigo, probablemente porque el nivel de P Bray en el suelo era muy bajo (4,7 mg kg⁻¹), lo que también se vio reflejado en el aumento del número de granos (258 granos m⁻²).

La aplicación de S suele determinarse por el contenido de S-SO₄ en el suelo, siendo recomendadas sus aplicaciones cuando el suelo contiene menos de 10 mg kg⁻¹ o se conocen deficiencias generalizadas en la zona (Messick, 1992). A su vez las respuestas a S, según Martínez y Cordone (1998/2000) y Díaz Zorita, et al. (2002) se observan principalmente en suelos degradados, con muchos años de agricultura y con cultivos de alta producción en suelos arenosos y/o pobres en materia orgánica. Esto puede explicar el aumento significativo para el peso de mil granos y el porcentaje de proteína, ya que el lote donde se realizó el ensayo contiene únicamente 2,6 mg kg⁻¹ de S-SO₄, provenientes de muchos años

de agricultura (35 años aproximadamente) y a su vez de un bajo contenido de materia orgánica (2,5%) en el suelo.

Para el tratamiento con P y S, al compararlo con el testigo se logró un incremento significativo en el rendimiento y en el peso de 1000 granos. Pero a pesar del aumento observado en la proteína (1,03 puntos porcentuales), el porcentaje de aceite disminuyó en 0,38 puntos porcentuales. Según Gudelj (2008), la magnitud de la expresión del contenido de proteína puede estar influenciado por la pérdida de nutrientes del suelo, principalmente del P. Esto podría justificar la respuesta de la proteína a la aplicación de P y S.

El B es uno de los nutrientes que frecuentemente logra un incremento en el rendimiento, ya que interviene directamente en procesos reproductivos, mejorando la retención floral y el cuajado de las vainas. En varias experiencias realizadas en distintos puntos del país, se han logrado respuestas positivas para rendimiento del 10% por sobre el testigo (Ferraris et al., 2005/2007 y Mousegne et al., 2007). A su vez según una experiencia realizada por Ferraris y Couretot (2006) logro resultados positivos, donde el B en conjunto con el N aumento el rendimiento a través del número de granos y no de su peso. Esto explicaría la hipótesis planteada para la respuesta a B, donde se observaron respuestas positivas en el número de granos, pero negativas en el peso de 1000 y el porcentaje de proteína.

En lo que respecta a la fertilización foliar con N, esta se realizó en estados reproductivos debido a que, este es el momento de mayor demanda por parte del cultivo hasta la plenitud del llenado de granos (R6). Esto se debe a que los granos pasan a convertirse en el principal destino de carbono y nutrientes en la planta, mientras que los nódulos pasan a un segundo plano. Así se genera una disminución de la FBN y como consecuencia menos N disponible para el llenado de granos y la formación de proteína de los mismos (Salvagiotti, 2009). Es por ello que esta fertilización se realizó con el objetivo de acumular una mayor cantidad de N en la biomasa aérea, para luego contribuir a una mayor acumulación de proteína en grano. Contrariamente a la hipótesis planteada, no se observaron respuestas significativas para ninguna de las variables en cuestión. Esto pudo deberse a que la FBN y el N disponible en el suelo lograron cubrir las necesidades del cultivo.

En cuanto a la hipótesis para la doble dosis de P y S, se observó un aumento significativo en el número de granos y en el porcentaje de aceite, pero una disminución en el porcentaje de proteína y en el peso de mil granos respecto a la dosis simple. También existió un aumento del rendimiento, aunque no significativo, que pudo generar el incremento en el porcentaje de aceite y la disminución en el porcentaje de proteína, ya que, según Cuniberti

et al (2006), a mayor rendimiento en sojas de 1°, cae el porcentaje de proteína, pero se mantienen los buenos valores de aceite.

Con respecto a la respuesta positiva en el rendimiento y número de granos con la aplicación de la doble dosis de P y S contra el testigo, puede ser explicada según estudios realizados por Gutiérrez Boem y Thomas (1999), donde las deficiencias de P generan menores rendimientos que se expresan como una disminución en el número de granos, ya que esta deficiencia afecta el área foliar y en consecuencia la captación de la radiación en estadios tempranos de desarrollo del cultivo. En este caso a través de una adecuada fertilización se obtuvo la cantidad necesaria de P que el suelo no tenía disponible, logrando como respuesta un aumento significativo en ambas variables.

Por último, de acuerdo a la hipótesis planteada para el tratamiento de Fetrilon, el peso de mil granos en vez de aumentar, disminuyó de manera significativa. Según Ferraris et al. (2005), diferentes experiencias realizadas en distintas zonas del país mostraron resultados positivos para el rendimiento con la utilización de micronutrientes como el Mo, el B, el Mn y el Zn. Si bien en la región pampeana no se han detectado deficiencias en forma visual de estos micronutrientes, es sabido que las mismas pueden estar relacionados con suelos de baja fertilidad o intensamente cultivados, especialmente el B y el Zn (Fancelli, 2006).

6. Conclusiones:

La aplicación de P pre-siembra no aumentó el peso de 1000 granos, ni en el porcentaje de proteína, como tampoco disminuyó el porcentaje de aceite. Pero sí logró un aumento en el rendimiento y en el número de granos, como se planteaba en la primera hipótesis.

La aplicación de S con una base de P, al compararla con el tratamiento con P solo, aumentó el peso de mil granos y el porcentaje de proteína, pero disminuyó el porcentaje de aceite como lo planteado en la hipótesis, aunque no se obtuvo un aumento significativo en el rendimiento, ni en el número de granos.

La aplicación con P y S, al compararla con el testigo, aumentó el rendimiento, el peso de mil granos, el porcentaje de proteína y el aceite disminuyó, sólo el número de granos no se modificó, contrariamente a lo hipotetizado.

La aplicación de B disminuyó el peso de mil granos y aumentó el número de granos, lo cual coincide con parte de la hipótesis planteada. Pero disminuyó el porcentaje de proteína, lo cual no corresponde a lo hipotetizado.

La aplicación de N foliar no generó aumentos significativos en ninguna de las variables estudiadas al compararlo con el tratamiento con B.

La aplicación de doble dosis de P y S comparada con la simple dosis incrementó el número de granos, de acuerdo a lo planteado en la hipótesis. Pero a pesar de haber proyectado en la hipótesis que el peso de mil granos y el porcentaje de proteína iban a aumentar, estos disminuyeron. A su vez el porcentaje de aceite en vez de disminuir, aumentó.

La aplicación de doble dosis de P y S incrementó significativamente el rendimiento y el número de granos al compararlo con el testigo, lo cual coincide con parte de la hipótesis planteada.

La aplicación de micronutrientes, de acuerdo a la hipótesis sugerida, no aumentó el rendimiento, ni el número de granos, ni el porcentaje de proteína, pero tampoco disminuyó el porcentaje de aceite. A su vez debía generar un aumento en el P1000, pero lo disminuyó.

En conclusión, en este trabajo comprobamos que es posible aumentar el porcentaje de proteína a través de la fertilización azufrada. A su vez sería conveniente la aplicación de fertilizantes con P y S conjuntamente, lo que lograría no solo aumentar el porcentaje de proteína, sino también el rendimiento. Esto llevaría a mejorar la rentabilidad del campo, al generar mejores ingresos y así también evitar la sucesiva extracción de nutrientes del suelo.

7. Bibliografía

- Boxler, M y García, F.O. et al. 2010/2011. Red de Ensayos en Nutrición de Cultivos Región CREA Sur de Santa Fe.
- Caride, S. 2016. Evaluación del rendimiento y calidad de los granos de soja como respuesta a diversas fertilizaciones, en el establecimiento La Flora, Casbas, Argentina [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. PP.: 13.
- Cuniberti, M. et al. 2006. Factores ambientales y genéticos que influyen en el contenido de proteína de la soja argentina. Pp. 1-2.
- Cuniberti M. 2015. Soja: rendimiento y calidad de la última campaña.
- Díaz Zorita M., F. García y R. Melgar (coord.). 2002. Fertilización en soja y trigo-soja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. Boletín proyecto Fertilizar. EEA INTA Pergamino. 44 p.
- Díaz Zorita M. 2004. Nutrición balanceada y manejo de la inoculación. Cuadernillo soja. Revista Agro mercado. Pp. 14-17.
- Divito, G.A.; Sadras, V.O 2014. How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis.
- Fancelli, A. 2006. Micronutrientes en la fisiología de los cultivos. En: Vázquez, M (Ed.). Micronutrientes en la agricultura. AACs: 11-28.
- Ferraris, G., Gutiérrez Boem, F., Echeverría, H. 2002. Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja. IDIA XXI 3, 52-58.

- Ferraris, G., L. Couretot y J. Ponsa. 2005. Utilización de molibdeno, cobalto, boro y otros nutrientes. Agro mercado, SOJA. N° 107: 16-18.

- Ferraris, G y Couretot, L 2006. Evaluación de la fertilización complementaria con nitrógeno y boro en soja. Desarrollo rural INTA EEA Pergamino, Proyecto regional agrícola.

- Ferraris, G., L. Couretot y J. Ponsa. 2007. Evaluación de la aplicación de nutrientes alternativos en soja En: Soja. Resultados de Unidades demostrativas del Proyecto Regional Agrícola. CERBAN. Áreas de Desarrollo Rural EEA INTA Pergamino y General Villegas.

- Ferraris, G y Toribio, M., (2013/2014). La Fertilización Nitrogenada ¿puede incrementar el contenido proteico en los granos de soja? INTA EEA Pergamino.

- Fontanetto, H; Keller, O. 2006. Consideraciones sobre el manejo de la fertilización de la soja. Pp 51

- Fontanetto, H.; O. Keller; D. Giailevra; L. Belotti y C. Negro. 2008. Fertilización fosfatada del cultivo de soja en suelos de la región central de Santa Fe. Respuesta física del cultivo, eficiencia de uso del P y niveles críticos en el suelo. XXI Congreso de la AACS. Resúmenes: 3-12:184.

- Fontanetto, H et al. 2011. Manejo de la fertilización de la soja en regiones templadas. INTA EEA Rafaela; FCA –UNL; AFA María Juana y Asesores privados.

- Gambaudo, S; Racca Madoery, M.S; Fontanetto, H. (2011). Respuesta al agregado de micronutrientes en el cultivo de soja en suelos de diferente aptitud agrícola. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. Septiembre 2011. No.3.

- García, F. 2005. Criterios para el Manejo de la Fertilización del Cultivo. INPOFOS Cono Sur. No. 27-septiembre 2005.

- García, F., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, I. Ciampitti, A. Correndo, F. Bauschen, A. Berardo, y N. Reussi Calvo. 2010. La red de nutrición de la región CREA Sur de Santa Fe. Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009.
- Gudelj, V. 2008 a. Cambios en el estado de situación. In: Diagnostico, reposición de nutrientes y tecnología de la fertilización. Informe de avance anual 2008 (Proyecto Específico PNCER 2342).
- Gutierrez Boem F.H. y G.W. Thomas. 1999. Phosphorus nutrition and water deficits in field-grown soybeans. *Plant and Soil* 207:87-96.
- Gutiérrez Boem F.H. y G.W. Thomas. 2001. Leaf area development in soybean as affected by phosphorus nutrition and water déficit. *Journal of Plant Nutrition* 24: 1711-1729.
- Gutiérrez Boem, F., P. Prystupa, y C.R. Alvarez. 2006. Comparación de dos redes de ensayos de fertilización fosforada de soja en la región pampeana. *Informaciones Agronómicas* No. 31.
- Martínez F. y G. Cordone. 1998. Fertilización azufrada en soja. Jornadas de Azufre. UEEA INTA Casilda, septiembre 1998. Casilda, Santa Fe, Argentina.
- Martínez F. y G. Cordone. 2000. Avances en el manejo de azufre: Novedades en respuesta y diagnóstico en trigo, soja y maíz. In Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2000". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Martínez, F; Cordone, G. (2005). fertilización es soja con micronutrientes, estación experimental INTA Casilda, Santa Fe, Argentina.
- Martínez F. y G. Cordone. 2015. Impacto de la fertilización en soja sobre la calidad de grano. *Informaciones Agronómicas* No. 18. junio 2015.
- Messick, D.L. 1992. Soil test interpretation for sulphur in the United States, an overview. *Sulphur in Agriculture* 16: 24-25.

- Miguez, F; Davèrède, I. (2016) ¿La fertilización con fosforo y azufre en soja aumenta el porcentaje de proteína en grano? Pp: 1
- Mousegne, F., M. López de Sabando, A. Paganini y M. Bondolfi. 2006. Fertilización foliar, campaña 2005/06. 10 pp.
- Salvagiotti, F. 2009. El manejo de la nutrición nitrogenada en soja. Estación experimental INTA Oliveros, Santa Fe, Argentina.
- Salvagiotti, F., Ferraris, G., Quiroga, A., Barraco, M., Vivas, H., Prystupa, P., Echeverría, H.E., Gutiérrez-Boem, F.H., 2012. Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N:S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. Field Crops Research 135, 107-115.
- Salvagiotti, F. 2013. ¿Cómo podemos aumentar los rendimientos de soja? La visión desde la nutrición. Proc Simposio de Fertilidad 2013. Rosario, pp. 45-50.
- SIIA, 2016. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Ministerio de Agroindustria, Presidencia de la Nación. www.siiia.gov.ar [26 de febrero 2017]
- Soldini, D. O.; Salines, L. A.; Heredia, A. (2008), Fertilización y contenido de proteína en soja, EEA Marcos Juárez, INTA.

8. Anexos

8.1 Análisis de la Varianza y Contrastes

aceite

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
aceite	28	0,56	0,34	0,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,85	9	0,09	2,57	0,0424
tratamientos	0,80	6	0,13	3,61	0,0159
bloque	0,05	3	0,02	0,49	0,6941
Error	0,67	18	0,04		
Total	1,52	27			

Contrastes

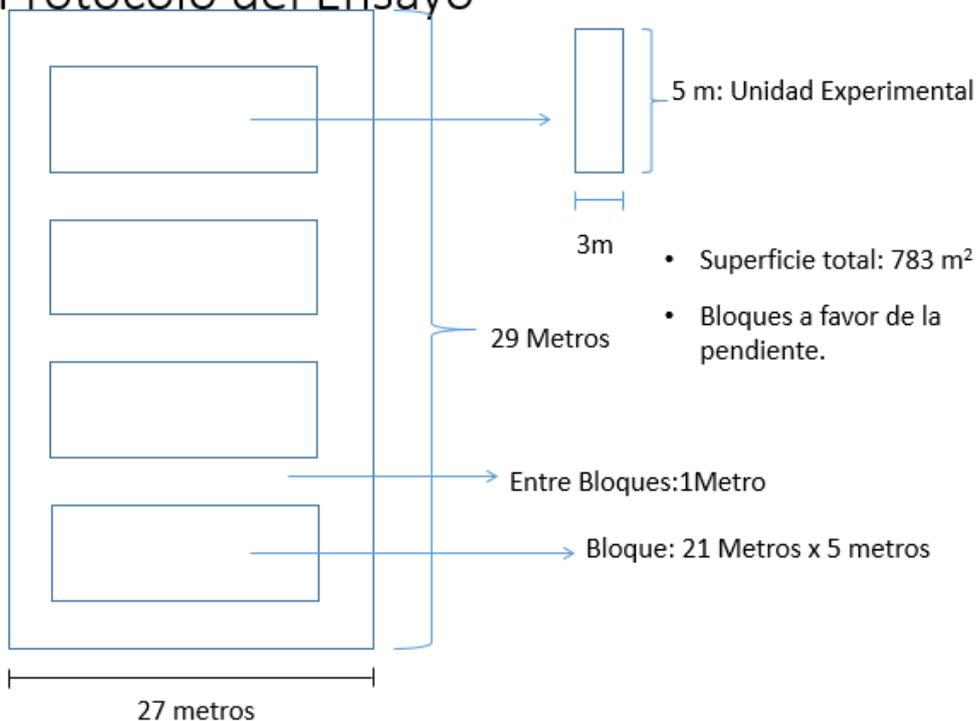
tratamientos	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
Contraste1	0,08	0,14	0,01	1	0,01	0,30	0,5881
Contraste2	-0,45	0,14	0,41	1	0,41	10,95	0,0039
Contraste3	-0,38	0,14	0,28	1	0,28	7,60	0,0130
Contraste4	0,07	0,14	0,01	1	0,01	0,30	0,5881
Contraste5	0,00	0,14	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Contraste6	0,40	0,14	0,32	1	0,32	8,65	0,0087
Contraste7	0,03	0,14	1,3E-03	1	1,3E-03	0,03	0,8562
Contraste8	0,20	0,14	0,08	1	0,08	2,16	0,1586
Total			0,80	6	0,13	3,61	0,0159

Coefficientes de los contrastes

tratamientos	Ct.1	Ct.2	Ct.3	Ct.4	Ct.5	Ct.6	Ct.7	Ct.8
1	-1,00	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	-1,00	0,00
2	1,00	-1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	1,00	1,00	-1,00	0,00	-1,00	0,00	-1,00
4	0,00	0,00	0,00	1,00	-1,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

8.2 Protocolo del ensayo

Protocolo del Ensayo



Esquema 1: muestra la disposición y dimensión de la parcela y sus bloques.

Bloque 1	7	3	5	2	6	4	1
Bloque 2	6	1	4	5	7	2	3
Bloque 3	7	1	2	6	3	4	5
Bloque 4	3	5	2	7	6	4	1

Esquema 2: cada celda corresponde a una parcela y cada número corresponde al tratamiento que recibirá esa parcela.

1) Testigo
2) Respuesta a P
3) Respuesta a S
4) Respuesta a B
5) Respuesta a N foliar
6) Respuesta a doble dosis de P y S
7) Respuesta a micronutrientes

Tutora: Ing. Agr. Inés Davèrède

Teléfono Celular: 02226-15445702

E-mail: inesdaverede@gmail.com

