

Gómez, Rocío

Efectos de distintos nutrientes sobre el rendimiento y la calidad de la soja en el establecimiento “Don Roberto”, General Villegas, provincia de Buenos Aires

**Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria
Facultad de Ciencias Agrarias**

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central “San Benito Abad”. Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución.

La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Gómez, R. 2016. Efectos de distintos nutrientes sobre el rendimiento y la calidad de la soja en el establecimiento “Don Roberto”, General Villegas, provincia de Buenos Aires [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/calidad-soja-establecimiento-don-roberto.pdf> [Fecha de consulta:.....]



Ingeniería en Producción Agropecuaria

“Efectos de distintos nutrientes sobre el rendimiento y la calidad de la soja en el establecimiento “Don Roberto”, General Villegas, provincia de Buenos Aires.”

Trabajo final de graduación para optar por el título de:
Ingeniero en Producción Agropecuaria

Autor: Gómez Rocío

Profesor Tutor: Ing. Agr. Inés Davèrède, PhD

Fecha: 2016

Resumen:

El cultivo de soja es una de las leguminosas más importantes del mundo debido a su importancia para la alimentación humana y animal, tanto por la proteína como el aceite. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto que tienen distintos nutrientes sobre el rendimiento, porcentaje de proteína y aceite en el cultivo de soja. Para ello se diagramó un diseño aleatorizado en 4 bloques de 8 parcelas cada uno, con 4 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos fueron los siguientes: **1.** Testigo, **2.** 20 kg 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 + 100g B en R1-R2) ha⁻¹, **5.** (22 kg de P + 13.2 kg de S + 100g B en R1-R2 + 10 kg N foliar baja dosis en R5) ha⁻¹, **6.** (22 kg de P + 13.2 kg de S + 100g B en R1-R2 + 20 kg N foliar alta dosis en R5) ha⁻¹, **7.** (22 kg de P + 13 kg de S + 100g B en R1-R2 + 1,3 kg Zn) ha⁻¹, **8.** Doble dosis (44 kg de P + 26,4 kg de S) ha⁻¹. El porcentaje de proteína y aceite no tuvieron diferencias estadísticas significativas entre los diversos tratamientos, rondando sus valores en 36% y 23,8 %, respectivamente. El rendimiento promedió 5450 kg ha⁻¹; contrariamente a lo esperado y sin explicación fisiológica, el tratamiento con una alta dosis de N foliar respondió positivamente mientras que el tratamiento con una baja dosis de N foliar respondió en forma negativa.

Agradecimientos:

Quiero agradecer en primer lugar a mi familia, quien me brindó todo su apoyo durante la carrera, para que pueda crecer y obtener así el título de una carrera universitaria. También agradecerles porque me dieron la posibilidad de realizar el ensayo en el campo, y su predisposición para que pueda concretarlo.

A otra persona que quiero darle las gracias es a mi tutora de tesis, la Ing. Agr. Inés Davèrède, quien me ayudó y me guió durante la realización de todo el proyecto. Siempre me dio las herramientas necesarias para la escritura del mismo y su tiempo para que pueda concluir con dicho trabajo de la mejor manera.

También agradecer a Bunge Argentina S.A, quién me brindó los fertilizantes utilizados, y se encargó de los costos referidos al análisis de suelo, realizado en Tecnoagro SRL.

Por último quiero agradecer a la Facultad de Ciencias Agrarias de la UCA por brindarme todos los conocimientos adquiridos durante la carrera, los cuales me ayudarán para insertarme en el mundo laboral, y para poder desarrollarme con ética y moral en la profesión. No quiero dejar de nombrar a mis amigos también, quienes me acompañaron en todo momento y brindaron su granito de arena para que este trabajo llegue a su fin con resultados positivos.

Índice:

| | |
|---|----|
| Introducción | 5 |
| Hipótesis | 8 |
| Objetivo general | 8 |
| Materiales y métodos | 9 |
| Métodos y procedimientos | 9 |
| Análisis estadístico | 10 |
| Resultados | 10 |
| Discusión | 13 |
| Conclusiones | 15 |
| Bibliografía | 16 |
| Anexos | 18 |
| Contrastes de rendimiento y análisis de varianza | 18 |
| Contrastes de aceite y análisis de varianza | 19 |
| Contrastes de proteína y análisis de varianza | 20 |
| Medidas de resumen | 21 |

Introducción:

La soja (*Glycine max, L.*) es una especie de la familia de las leguminosas cultivada por sus semillas, las cuales tienen un contenido aproximado de aceite de 20 % y un 40 % de proteína. El grano de soja y sus subproductos (aceite y harina de soja principalmente) se utilizan en la alimentación humana y animal, siendo muy importante en la industria de las raciones (Muñoz, 2012). La Argentina es exportador marginal de poroto de soja debido a que más del 80% de la soja se industrializa y se exporta como aceite, harina y biodiesel. A nivel mundial, Argentina es el tercer exportador de grano, luego de Estados Unidos y de Brasil, pero es el primer exportador de aceites y harinas proteicas. (Cuniberti, 2011). Los porcentajes de aceite y proteína de las semillas son influenciados por efectos genéticos y ambientales.

Con la intensificación de la agricultura Argentina y la falta de rotaciones con pasturas, se produjo una notable disminución de los niveles de MO y de nutrientes de los suelos de la región pampeana, los cuales, en algunas zonas, representan menos de la mitad de los niveles originales. El mismo proceso de intensificación llevó al productor a hacer un uso mucho mayor de los fertilizantes, al punto de triplicar en un lapso de 20 años el consumo en la mayor región productora de granos del país. Este mayor uso de fertilizantes nitrogenados, fosfatados y azufrados, nutrientes vinculados al ciclo de la materia orgánica, achicó la brecha causada por la extracción resultante de los cultivos y la exportación de los granos (Sainz Rozas, 2012).

Respecto al impacto de la nutrición en la producción, nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) son los nutrientes que en mayor medida limitan el rendimiento, mientras que los cationes como potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) lo hacen solo en situaciones particulares y los micronutrientes pueden hacerlo en ambientes de alta producción (Salvagiotti, 2013). El N es el de mayor demanda en el cultivo, 80 kg tn⁻¹ de grano producido, mayoritariamente cubierto a partir del proceso de fijación biológica de N atmosférico (FBN) en la simbiosis entre la leguminosa y los rizobios (García, 2000).

Durante mucho tiempo se ha evitado recomendar aplicaciones de N en soja debido a que el proceso de fijación biológica es una consecuencia de un ambiente carente de nitrógeno, y una dosis excesiva del mismo puede inhibir la nodulación, lo que ocasionaría la baja del rinde. Sin embargo según ensayos del INTA Rafaela, la aplicación con N como fertilizante aumenta el rendimiento del cultivo (Fontanetto, 2009).

Si consideramos los niveles de P en la mayoría de los suelos de la región Pampeana (siendo el umbral 9-10 mg kg⁻¹), los mismos se encuentran en niveles inferiores al umbral de respuesta a la fertilización (Díaz Zorita, 2002). La adecuada nutrición fosfatada del cultivo resulta en mayor crecimiento y desarrollo del cultivo, maduración temprana y mayor desarrollo de nódulos. Se conoce que la aplicación del fósforo tiene mayor eficiencia

cuando se coloca concentrado en bandas que cubren sólo el 2,5% del volumen de suelo. Cuando hablamos del S, la deficiencia en soja puede reducir la síntesis de las enzimas que forman parte del aparato fotosintético. Se considera también que debido a la estrecha relación entre el metabolismo del S y del N, las deficiencias del primero afectan la asimilación y concentración de N en las hojas (Galarza, 2001). Los sitios deficientes en S se caracterizan por poseer bajo contenido de materia orgánica (en muchos casos producida por el intenso uso agrícola) y/o alto contenido de arena. Hasta el momento, no se ha podido encontrar un umbral de sulfatos confiable (Echeverría et al., 2002).

Los micronutrientes como el boro (B), el cobre (Cu) y el zinc (Zn) son elementos esenciales para el crecimiento y reproducción vegetal, ya que su deficiencia repercute negativamente en la producción, tanto en el rendimiento como en la calidad, principalmente, en una menor eficiencia de uso del resto de los factores de producción, como agua, nutrientes de los fertilizantes y potencial genético de las variedades e híbridos mejorados (Sainz Rozas, 2012). Sólo una fertilización balanceada va a ayudar a capitalizar el aporte de residuos de los cultivos y su incorporación como parte estable de la MO del suelo. Mientras la extracción de los cultivos sea mayor a los aportes de nutrientes externos la degradación de los suelos continuará.

La fertilización se plantea entonces como una técnica para mejorar no solo el rendimiento del cultivo sino también la nutrición de los suelos, que brindará mayores producciones en forma estable a través de los años.

Los niveles de proteína de la soja vienen bajando en la zona núcleo argentina en los últimos años. Esto no solo se debe al no uso de semillas de alta calidad genética, sino también a otros factores como son los niveles de P y S, los cuales tienen un efecto marcado sobre el contenido de proteína en el grano (Rossi, 2013).

La calidad de la materia prima a procesar cumple un rol fundamental en la definición de la calidad del producto o subproducto final del proceso. Las condiciones ambientales de cada año, sumado a las variedades difundidas, fechas de siembra y manejo del cultivo, hacen que la calidad no sea la misma en el norte que en el centro y sur del área sojera. El poroto de soja se caracteriza por presentar altos contenidos de aceite y relativamente baja proteína, sobre todo en la zona Pampeana, aunque en latitudes menores (norte del país) esta relación no se cumple, dando valores altos de proteína y aceite a la vez. El rendimiento y la proteína se correlacionan inversamente, de manera que a menor rendimiento la proteína aumenta. En cambio, el contenido de aceite se correlaciona positivamente con el rendimiento, teniendo a mayor rinde mayor contenido de aceite (Cuniberti, 2006).

Hace varios años, el porcentaje de proteína y aceite eran bajos, pero desde la campaña 07-08 se observa un aumento de ambos parámetros, debiéndose fundamentalmente a factores climáticos. En la campaña 2013/2014 de soja, aparecieron preocupantes niveles de calidad industrial del poroto de soja, no sólo por el bajo tenor proteico (38%) sino también por la reducción en el contenido de materia grasa, lo que hace que el PROFAT del grano (indicador de calidad que mide el contenido conjunto de proteína + materia grasa) se encuentre en niveles bajos, siendo su umbral 61% en base seca (Martínez, 2015). Para mejorar la expresión de la cantidad de proteína y aceite se debería enfocar el mejoramiento genético no solo a mayor productividad sino también mejor calidad (Cuniberti, 2011). Los bajos niveles de proteína en grano originan harinas de poca calidad; mientras que los bajos niveles de materia grasa causan una menor obtención de aceite a partir del proceso de extracción. Lo anterior se debe a que el mercado de hoy no se interesa por producir un grano con alto tenor proteico, sino que el mejoramiento genético se enfoca a aumentar los rendimientos. Esto deriva en que la industria procesadora debe realizar esfuerzos crecientes para mantener la cantidad y el valor de las exportaciones (Matteo, 2014).

En la campaña 1998/99 el INTA de Casilda realizó una red de ensayos para observar si había impacto de la fertilización sobre la calidad del grano producido. Los efectos de la fertilización en aceite, proteína y ProFat (% aceite + % proteína) se evaluaron comparando las concentraciones de estas variables entre los testigos y los tratamientos fertilizados. Llegaron a la conclusión que la fertilización tendió a disminuir la concentración de aceite, y a aumentar la de proteína y el ProFat (Cordone et al, 2011). Otras fuentes mencionan que fertilizando con N, sabiendo que el N total del suelo podría estar disminuyendo, a la larga disminuiría la proteína. Bassi (2014) menciona que el aporte de S y P en un corto lapso mejora la proteína del grano, pero hoy en día aún faltan datos que lo corroboren.

Si subestimamos los requerimientos de los cultivos, lógicamente traerá aparejado una merma en los rendimientos, además de generar un impacto negativo sobre el principal recurso productivo y patrimonio del productor: el suelo (Pussetto, 2012).

En nuestro país existen muy pocas referencias acerca del impacto de la nutrición del cultivo sobre la concentración de proteína y aceite en el grano de soja. Este ensayo, junto a una red de ensayos que comenzó en el año 2013, evalúa el efecto de distintos nutrientes sobre la calidad del grano.

Hipótesis

- ✓ La aplicación de fósforo (P) a la siembra aumentará el rendimiento, la concentración de aceite y disminuirá la proteína de la soja respecto al testigo.
- ✓ La aplicación de fósforo (P) y azufre (S) a la siembra aumentará el rendimiento, el aceite y disminuirá la proteína de la soja respecto a la aplicación de P a la siembra.
- ✓ La aplicación de P y S a la siembra aumentará el rendimiento, el aceite y disminuirá la proteína de la soja respecto al testigo.
- ✓ La aplicación de boro (B) en presencia de S y P aumentará el rendimiento, la concentración de aceite y disminuirá la proteína respecto a la aplicación de P y S.
- ✓ La aplicación de nitrógeno (N) foliar en baja dosis en etapa R5, en presencia de B, P, S aumentará el rendimiento, aceite y la proteína de la soja respecto a la aplicación sin N.
- ✓ La aplicación de N foliar en alta dosis en etapa R5, en presencia de B, P, S aumentará el rendimiento, el aceite y la proteína de la soja respecto a la aplicación con baja dosis.
- ✓ La aplicación de cinc (Zn) en presencia de B, S y P aumentará el rendimiento, la concentración de aceite y disminuirá la proteína respecto a la aplicación sin Zn.
- ✓ La aplicación de doble dosis a la siembra de P y S aumentará el rendimiento, aceite y la proteína de la soja respecto a la aplicación simple.

Objetivo General

El objetivo de este proyecto es evaluar el efecto que tienen distintos nutrientes sobre el rendimiento, porcentaje de proteína y aceite en el cultivo de soja.

- ✓ Evaluar el efecto de la fertilización pre-siembra con azufre(S), fósforo (P) y zinc (Zn) sobre el rendimiento y la concentración de proteína y aceite en el grano de soja.
- ✓ Evaluar el efecto de la fertilización de boro (B) en presencia de S y P, sobre el rendimiento, la proteína y el aceite del grano de soja.
- ✓ Evaluar el efecto de la fertilización foliar con nitrógeno(N) en alta o baja dosis, sobre el rendimiento, la proteína y el aceite del grano de soja.

Materiales y métodos:

El ensayo se realizó con un diseño en bloque completos aleatorizados (DBCA), con 8 tratamientos, y 4 repeticiones en el establecimiento “Don Roberto”, ubicado en la ruta 33, a 19 km de la ciudad de General Villegas. Desde hace varios años, en dicho campo se realiza agricultura, mediante la siembra directa. Los suelos son de clase textural franca, con riesgo de inundación debido a la falta de drenaje que poseen en los bajos. Las unidades experimentales fueron parcelas de 3m x 5m, totalizando 32 unidades experimentales.

Tabla 1: Dosis de nutrientes aplicados en cada tratamiento.

| Nro trt | Tratamientos | Kg/ha SFT o MEZ (trt 7) | Kg/ha SFS | N siembra Kg/ha | P Kg/ha | S Kg/ha | N foliar Kg/h a | Zn Kg/ ha |
|--------------------|---|--|----------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 1 | Testigo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 2 | P (SFT) | 110 | 0 | 0 | 22 | 0 | 0 | |
| 3 | P y S (SFT + SFS) | 60 | 110 | 0 | 22 | 13,2 | 0 | |
| 4 | P y S + 100 gr B R1-R2 | 60 | 110 | 0 | 22 | 13,2 | 0 | |
| 5 | P y S + 100 gr B R1-R2 + N foliar baja dosis R 5 | 60 | 110 | 0 | 22 | 13,2 | 10 | |
| 6 | P y S + 100 gr B R1-R2 + N foliar alta dosis R 5 | 60 | 110 | 0 | 22 | 13,2 | 20 | |
| 7 | P y S + 100 gr B R1-R2 + Zn | 130 | 110 | 9,1 | 22 | 13 | 0 | 1,3 |
| 8 | Doble dosis P y S | 120 | 220 | 0 | 44 | 26,4 | 0 | |

Métodos y procedimientos:

Se sembró la variedad de soja Don Mario 4712, previamente inoculada, sembrada el 31/10, a 35 cm de distancia entre los surcos, con una máquina Bertini 3200, neumática. Los tratamientos fueron distribuidos antes de la siembra, a mediados de septiembre de forma manual, aleatoria. Se realizaron dos aplicaciones de fertilizantes foliares luego de la siembra. Una fue en estadio R1 del cultivo, con Foliarsol B (100 gr de B) y la otra con Foliarsol U que contiene N foliar, la cual se aplicó en R5. Ambas se llevaron a cabo con un rociador de mano. El 10 de abril se cosecharon 2m² manualmente de cada tratamiento y luego se realizó la trilla con una trilladora manual que fue facilitada por el INTA de General Villegas, la cual utilizan para sus propios ensayos.

Análisis estadístico:

Para realizar la comparación entre los tratamientos, se utilizaron contrastes previamente planificados, mediante el programa estadístico InfoStat (2015). Se consideraron significativas aquellas pruebas con valor $p < 0.10$, para las variables en estudio rendimiento, proteína y aceite.

Resultados:

Los análisis de suelo del ensayo presentaron los siguientes resultados: pH agua 6,1; 2,09 % materia orgánica, 9,1 mg kg⁻¹ PBray, 4,5 mgkg⁻¹ de S, 10,9 meq 100g⁻¹ de CIC, 78,9 kg de N ha⁻¹ de 0 a 60 cm.

La campaña 2014-2015 se caracterizó por abundantes precipitaciones caídas durante el ciclo del cultivo (Tabla 2), 614 mm desde noviembre a abril, lo que benefició su implantación y crecimiento. Las mayores precipitaciones se dieron en los meses de enero, febrero y marzo (387 mm), permitiendo así un mayor desarrollo de la planta y mejor llenado de vaina.

Tabla 2: Precipitaciones históricas de General Villegas.

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | SUMA |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2005 | 199,0 | 54,5 | 253,5 | 18,5 | 2,5 | 12,0 | 50,8 | 25,0 | 37,5 | 38,4 | 164,6 | 37,8 | 894,1 |
| 2006 | 210,2 | 66,0 | 148,0 | 91,8 | 11,2 | 8,6 | 10,6 | 0,6 | 10,4 | 189,2 | 87,6 | 156,2 | 990,4 |
| 2007 | 113,2 | 151,4 | 228,0 | 31,8 | 14,2 | 17,4 | 1,8 | 1,8 | 85,8 | 48,8 | 29,2 | 99,3 | 822,7 |
| 2008 | 92,8 | 68,2 | 54,2 | 9,0 | 1,6 | 16,0 | 30,0 | 0,0 | 30,0 | 96,2 | 131,0 | 43,8 | 572,8 |
| 2009 | 25,0 | 110,8 | 42,0 | 55,0 | 20,0 | 0,2 | 29,0 | 1,4 | 79,6 | 9,6 | 121,0 | 310,6 | 804,2 |
| 2010 | 216,6 | 147,2 | 26,6 | 38,2 | 22,6 | 14,0 | 4,4 | 2,4 | 106,8 | 64,2 | 18,6 | 25,6 | 687,2 |
| 2011 | 127,2 | 83,2 | 50,4 | 99,8 | 10,2 | 7,0 | 10,8 | 0,6 | 7,8 | 78,0 | 61,8 | 2,8 | 539,6 |
| 2012 | 79,8 | 283,0 | 126,6 | 70,6 | 78,8 | 6,0 | 0,4 | 68,6 | 60,4 | 270,6 | 169,6 | 60,2 | 1274,6 |
| 2013 | 7,6 | 19,8 | 104,4 | 35,2 | 47,6 | 3,8 | 17,8 | 0,4 | 39,4 | 71,2 | 104,4 | 77,8 | 529,4 |
| 2014 | 67,4 | 124,4 | 104,2 | 172,2 | 76,6 | 4,4 | 11,4 | 4,0 | 87,0 | 70,2 | 72,8 | 78,6 | 873,2 |
| 2015 | 96,6 | 92,0 | 85,0 | 129,4 | 87,6 | 3,8 | 2,4 | 12,6 | 19,6 | 130,2 | | | 659,2 |

Fuente: Inta General Villegas

Respecto a las temperaturas durante el ciclo del cultivo, las temperaturas máximas ocurrieron en el mes de enero (32-33°C), mientras que el mes más frío fue abril, ya a partir del 20 de marzo las temperaturas descendieron, con una mínima de 12-13°C.

Como puede observarse en la tabla 3, no se encontraron diferencias significativas entre la mayoría de las comparaciones entre tratamientos de interés para la variable rendimiento. Se

encontraron diferencias significativas solo frente a la aplicación de N foliar en alta y baja dosis, pero no se llegó a una respuesta lógica ya que según la fisiología del cultivo estas no deberían oponerse como lo muestra la tabla 2. Si analizamos la respuesta a baja dosis, el rendimiento del cultivo disminuyó 1566 kg ha^{-1} , mientras que con alta dosis el rendimiento aumentó 1300 kg ha^{-1} . Es difícil explicar estos resultados debido a que si nos ponemos del lado de la fisiología de la planta, si se aplicara una alta dosis de N foliar y la planta sufriese fitotoxicidad, como ocurrió en otras localidades, el rendimiento debería ser negativo. Pero al aumentar tantos kg, no se obtuvo explicación. El rendimiento promedio fue de 5450 kg ha^{-1} .

Tabla 3: Contrastes entre tratamientos de interés para la variable rendimiento en soja en el partido de General Villegas: **1.** Testigo, **2.** 20 kg P ha^{-1} , **3.** $(22 \text{ kg de P} + 13.2 \text{ kg de S}) \text{ ha}^{-1}$, **4.** $(22 \text{ kg de P} + 13.2 \text{ kg de S} + 100\text{gr B en R1-R2}) \text{ ha}^{-1}$, **5.** $(22 \text{ kg de P} + 13.2 \text{ kg de S} + 100\text{gr B en R1-R2} + 10 \text{ kg N foliar baja dosis en R5}) \text{ ha}^{-1}$, **6.** $(22 \text{ kg de P} + 13.2 \text{ kg de S} + 100\text{gr B en R1-R2} + 20 \text{ kg N foliar alta dosis en R5}) \text{ ha}^{-1}$, **7.** $(22 \text{ kg de P} + 13 \text{ kg de S} + 100\text{gr B en R1-R2} + 1,3 \text{ kg Zn}) \text{ ha}^{-1}$, **8.** Doble dosis $(44 \text{ kg de P} + 26,4 \text{ kg de S}) \text{ ha}^{-1}$.

| | Contraste | Rendimiento | p- valor |
|---|------------------|--------------------|-----------------|
| Respuesta al P | 2 vs 1 | -93,39 | 0,8577 |
| Respuesta al S | 3 vs 2 | 406,08 | 0,4887 |
| Respuesta al P y S | 3 vs 1 | 312,69 | 0,5928 |
| Respuesta al B | 4 vs 3 | -292,7 | 0,5977 |
| Respuesta a baja dosis de N foliar | 5 vs 4 | -1566,38 | 0,0028 |
| Respuesta a alta dosis de N foliar | 6 vs 5 | 1300,37 | 0,0154 |
| Respuesta al Zn | 7 vs 4 | -560,17 | 0,2250 |
| Respuesta a la doble dosis con P y S | 8 vs 3 | -572,74 | 0,3077 |

No se observaron diferencias significativas en ninguno de los contrastes respecto a la variable proteína, promediando 36% (tabla 4).

Tabla 4: Contrastes entre tratamientos de interés para la variable proteína en soja en el partido de General Villegas:

| | Contraste | Proteína | p- valor |
|--------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Respuesta al P | 2 vs 1 | 0,3 | 0,5883 |
| Respuesta al S | 3 vs 2 | -0,3 | 0,7174 |
| Respuesta al P y S | 3 vs 1 | 0,1 | 0,8561 |
| Respuesta al B | 4 vs 3 | 0,5 | 0,3714 |
| Respuesta a baja dosis de N foliar | 5 vs 4 | 0,13 | 0,8091 |
| Respuesta a alta dosis de N foliar | 6 vs 5 | -0,43 | 0,4369 |
| Respuesta al Zn | 7 vs 4 | -0,2 | 0,7174 |
| Respuesta a la doble dosis con P y S | 8 vs 3 | -0,23 | 0,6731 |

No se observaron diferencias significativas en ninguno de los contrastes respecto a la variable aceite, promediando 23,8% (tabla 5).

Tabla 5: Contrastes entre tratamientos de interés para la variable aceite en soja en el partido de General Villegas:

| | Contraste | Aceite | p- valor |
|--------------------------------------|------------------|---------------|-----------------|
| Respuesta al P | 2 vs 1 | -0,10 | 0,6756 |
| Respuesta al S | 3 vs 2 | 0,20 | 0,4071 |
| Respuesta al P y S | 3 vs 1 | 0,10 | 0,6756 |
| Respuesta al B | 4 vs 3 | -0,23 | 0,3356 |
| Respuesta a baja dosis de N foliar | 5 vs 4 | -0,10 | 0,6756 |
| Respuesta a alta dosis de N foliar | 6 vs 5 | 0,20 | 0,4071 |
| Respuesta al Zn | 7 vs 4 | 0,03 | 0,8888 |
| Respuesta a la doble dosis con P y S | 8 vs 3 | 0,10 | 0,6756 |

Los promedios de proteína, aceite y rendimiento para cada tratamiento se detallan en la tabla 6.

Tabla 6: Promedios de las 3 variables analizadas en el cultivo de soja en Gral. Villegas, provincia de Buenos Aires.

| | Tratamientos | Proteína | Aceite | Rendimiento |
|---|--|-----------------|---------------|--------------------|
| 1 | Testigo | 36,1 | 23,8 | 5746 |
| 2 | P (SFT) | 36,4 | 23,7 | 5653 |
| 3 | P y S (SFT + SFS) | 36,2 | 23,9 | 6059 |
| 4 | P y S + 100 gr B R1-R2 | 36,7 | 23,7 | 5766 |
| 5 | P y S + 100 gr B R1-R2 + N foliar baja dosis R 5 | 36,8 | 23,6 | 4200 |
| 6 | P y S + 100 gr B R1-R2 + N foliar alta dosis R 5 | 36,4 | 23,8 | 5500 |
| 7 | P y S + 100 gr B R1-R2 + Zn | 36,5 | 23,7 | 5206 |
| 8 | Doble dosis P y S | 35,9 | 24,0 | 5486 |

Discusión:

En este ensayo no se puede aceptar la hipótesis de que la respuesta al fósforo aumenta el rendimiento, aceite y disminuye la proteína debido a que no hubo diferencias significativas para ninguna de las variables analizadas. Esto puede explicarse porque el suelo presenta 9,1 mg kg⁻¹ de P, lo que indica la cantidad adecuada del nutriente para el desarrollo del cultivo, ya que se usa el valor de 9 - 10 ppm de fósforo extractable como umbral crítico para decidir la fertilización (Galarza, 2001). Si el valor fuese menor a 9 ppm, allí posiblemente habría respuesta del cultivo en rendimiento, como mencionaron Melgar y col (1995), quienes determinaron que en suelos con niveles de P menores a 9 ppm, determinados por el método de Bray y Kurtz 1, es factible obtener respuestas mayores a 300 kg ha⁻¹ por fertilización fosfatada.

Con respecto a la hipótesis planteada de respuesta al agregado de S, tampoco se encontraron respuestas significativas de las tres variables analizadas. Se comparó el tratamiento que contiene P únicamente, respecto al tratamiento de P y S combinados, aplicándose 13,2 kg ha⁻¹ de S + 22 kg ha⁻¹ de P. Según Martínez y Cordone (1998), la respuesta al S ha sido observada principalmente en suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente soja), y con historia de cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada. Estas condiciones definen los ambientes de mayor probabilidad de respuesta a la fertilización azufrada y el sitio del ensayo no está degradado ni tiene muchos años de agricultura.

En la región pampeana no se han detectado deficiencias en forma visual de micronutrientes (B, Zn, Cl, Cu, Mo, etc), aunque es sabido que las mismas pueden estar relacionadas con

suelos de baja fertilidad o intensamente cultivados (Fancelli, 2006). Las hipótesis que se plantearon sobre la fertilización con Boro o con Cinc (Zn), tampoco fueron positivas en las variables analizadas. El rendimiento disminuyó alrededor de 290 kg ha^{-1} con la aplicación de B, mientras que con Zn disminuyó 500 kg ha^{-1} , pero en ambos casos no fue significativo. Cabe destacar que en varios ensayos se determinaron contenidos de Zn y B en suelo por debajo de los umbrales citados en la literatura, según mencionan Ferraris y Gutierrez Boem (2001-2002).

La fertilización con N es considerada una técnica de aplicación de nutrientes muy eficiente para las plantas con el fin de mejorar su rendimiento. Los resultados encontrados sobre la respuesta de la soja en rendimiento y calidad a la aplicación de N en distintas fuentes bibliográficas han sido muy diversos, y no existe una respuesta única para su interpretación. Salvagiotti (2009), menciona en ensayos realizados en el año 2006-2007 en la Universidad de Nebraska, Lincoln, que la fertilización con N en los distintos tratamientos, y en combinación con otros fertilizantes, aumentó el rendimiento del cultivo de soja.

Bassi (2014) indicó que, al comenzar la etapa de llenado de granos (R5), se presentan situaciones de compromiso para el N presente en las hojas, que puede ser remobilizado al grano para formar parte de las proteínas, o permanecer en las hojas para mantener la producción de carbohidratos, que finalmente tendrán como destino el grano (allí aumentan rendimiento y diluyen proteína) y los excedentes se destinan a los nódulos para mantener activa la FBN durante todo el ciclo.

A través de las hipótesis planteadas sobre la aplicación foliar con N en alta y baja dosis, se encontraron respuestas significativas a la variable rendimiento. Aplicando alta dosis de N foliar, el rendimiento de la soja aumentó 1300 kg ha^{-1} , mientras que con baja dosis el rendimiento disminuyó -1566 kg ha^{-1} . No existe respuesta alguna sobre dichos resultados, debido a que si se agrega N foliar en alta o baja dosis, el rendimiento debería aumentar o disminuir en conjunto.

La última hipótesis planteada fue la fertilización con doble dosis de P y S, en donde se compararon los tratamientos 8 ($44 \text{ kg de P} + 26,4 \text{ kg de S}$) y 3 ($22 \text{ kg de P} + 13,2 \text{ kg de S}$), respectivamente. Al igual que en los casos anteriores, no hubo respuestas significativas a las variables rendimiento, aceite y proteína, probablemente por las cantidades suficientes de dichos nutrientes en el suelo.

Conclusiones:

- La aplicación de P a la siembra (tratamiento 2) no aumentó el rendimiento y el aceite, ni disminuyó el porcentaje de proteína como se planteó en la primera hipótesis.
- La aplicación de P y S a la siembra (tratamiento 3) no aumentó el rendimiento y el aceite, ni disminuyó el porcentaje de proteína como planteó la segunda hipótesis.
- La aplicación de B en presencia de P y S a la siembra (tratamiento 4) no aumentó el rendimiento ni el aceite, ni disminuyó el porcentaje de proteína como planteó la cuarta hipótesis.
- La aplicación de una simple dosis de P y S pre-siembra juntos con aplicación de B y N foliar en baja dosis en R5 no aumentó el aceite ni la proteína como lo planteado en la hipótesis. Sí hubo una respuesta significativa para el rendimiento, disminuyendo en un 27% (1566 kg ha^{-1}).
- La aplicación de una simple dosis de P y S pre-siembra juntos con aplicación de B y N foliar en alta dosis en R5 no aumentó el aceite ni la proteína como lo planteado en la sexta hipótesis. Sí hubo respuesta al rendimiento, aumentando el mismo en un 31 % (1300 kg ha^{-1}).
- La aplicación de Zn a la siembra (tratamiento 7) junto con la aplicación de B, P, S, no dio respuestas significativas al rendimiento, aceite y proteína como fue planteado en la séptima hipótesis.
- La aplicación de doble dosis de P y S a la siembra (tratamiento 8) no aumentó el rendimiento, el aceite ni la proteína como planteó la última hipótesis.

Los tratamientos de fertilización no generaron respuestas significativas en la mayoría de los casos evaluados para dicha campaña en la zona de Gral. Villegas.

Bibliografía

- ACSOJA 2015. Histórico soja. En: www.acsoja.org.ar/contenido.asp?cid=677. (revisado 22 de agosto 2015)
- Bassi J. 2014. Fertilización en soja: Calidad y Producción. Asociación Civil Fertilizar. En: <http://seminario2014.acsoja.org.ar/wp-content/uploads/2014/05/ACS-Seminario-Presentacion-Bassi.pdf>
- Cordone G., C. Vidal, R. Albrecht, F. Martinez y L. Martins. 2011. Rendimiento industrial de soja en la provincia de Santa Fe, Argentina. En: http://www.acsoja.org.ar/images/cms/contenidos/322_b.pdf (revisado julio 2015)
- Cuniberti M. y R. Herrero. 2006. Factores que influyen en el contenido de proteína y aceite en la soja argentina. Inf. de Actualización Técnica N° 7, pp. 67-70. En: <http://inta.gov.ar/documentos/caida-en-la-proteina-de-la-soja-en-la-argentina/>
- Cuniberti M., R. Herrero, L. Mir, O. Berra, O y S. Macagno. 2011. Rendimiento y calidad comercial e industrial de la soja en la región núcleo-sojera. Cosecha 2010-11. Informe de Actualización Técnica N° 21. En: http://inta.gov.ar/documentos/evolucion-del-contenido-de-proteina-y-de-aceite-en-la-region-sojera-argentina/at_multi_download/file/evoluci%C3%B3n%20.pdf
- Díaz Zorita M., F. García y R. Melgar. 2002. Fertilización en soja y trigosoja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. Boletín Proyecto Fertilizar. EEA INTA Pergamino. 44 pág.
- Echeverría H, Ferraris G, Gerster G, Gutiérrez Boem F, Salvagiotti F. 2002. Fertilización de soja y la secuencia trigo-soja en la región pampeana. Campañas 2000/01 y 2001/02. INTA – FERTILIZAR. EEA INTA Pergamino Buenos Aires.
- Fancelli A. 2006. Micronutrientes en la fisiología de los cultivos. En: M Vázquez(ed). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina, pág. 207.
- Ferraris G y Gutierrez Boem F. 2001. Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja de primera. Proyecto fertilizar- INTA. Revisado el 19 de abril de 2015 en <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210906.pdf>.
- Fontanetto H, O. Keller y J. Albrecht. 2009. Efecto de la fertilización con boro y nitrógeno sobre el cultivo de soja. Publicación Miscelánea N° 115. En: http://rafaela.inta.gov.ar/info/documentos/miscelaneas/115/misc115_115.pdf
- Galarza C. 2001. Fertilización del Cultivo de Soja. Resultados de Ensayos de la Campaña 2000/2002 (Tomo 2). Información para Extensión n°69. INTA Marcos Juárez. En: <http://www.profertilnutrientes.com.ar/images/archivos/607.pdf>
- García F. 2000. Soja: Nutrición del Cultivo y Fertilización en la Región Pampeana Argentina. INPOFOS/PPI/PPIC.
- Gargicevich A, E. Leguizamón. 2006. Soja, naturaleza y sociedad. En: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/20/11AM20.htm> (revisado julio 2015)

- Martínez F. y G. Cordone. 1998. Fertilización azufrada en soja. Jornadas de Azufre. UEEA INTA Casilda, Septiembre 1998. Casilda, Santa Fe, Argentina. En: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/CF7BA54CC83C7980852579950075F444/\\$FILE/16.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/CF7BA54CC83C7980852579950075F444/$FILE/16.pdf)
- Martínez F., G. Cordone. 2015. Impacto de la fertilización en soja sobre la calidad de grano. Campaña Disponible (5/1/2016) en: [www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/09DD01D2BDADA9A503257E5E00008A33/\\$FILE/17.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/09DD01D2BDADA9A503257E5E00008A33/$FILE/17.pdf)
- Matteo F. 2014. Cosecha récord de la soja, pero ¿Qué sucede con la calidad?. Informativo Semanal BCR.
- Muñoz R. 2012. Economía y mercado de la soja. En: Baigorri, E.J, El cultivo de soja en Argentina. Vicente López, Agroeditorial, pág 51-72.
- Pussetto P. 2012. Se pierden rendimientos por no fertilizar la soja correctamente. Revista Fertilizar N°24, pág. 22 a 24.
- Rossi, R. 2013. La soja busca más calidad. Artículo diario suplemento Clarín Rural, 28 de agosto. Disponible en: http://www.clarin.com/rural/soja-busca-calidad_0_980302483.html
- Sainz Rozas H. 2012. Micronutrientes en la región pampeana. Revista Fertilizar N°24, pág. 28 a 31.
- Salvagiotti F., J.E. Specht, G. Kenneth. y otros. 2009. Growth and Nitrogen Fixation in High-Yielding Soybean: Impact of Nitrogen Fertilization. Agronomy Journal Volume 101, Issue 4.
- Salvagiotti F. 2013. Cómo podemos aumentar los rendimientos de soja?. La visión desde la nutrición. Simposio de Fertilidad 2013. Rosario, pág. 45-50.

Anexos

Análisis de la varianza y contrastes

Rendimiento

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-------------|----|----------------|-------------------|-------|
| Rendimiento | 27 | 0,66 | 0,45 | 11,65 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|-------------|----|------------|------|---------|
| Modelo. | 12366044,68 | 10 | 1236604,47 | 3,14 | 0,0204 |
| Bloque | 3092514,41 | 3 | 1030838,14 | 2,62 | 0,0868 |
| Tratamiento | 9273530,28 | 7 | 1324790,04 | 3,36 | 0,0211 |
| Error | 6304258,78 | 16 | 394016,17 | | |
| Total | 18670303,46 | 26 | | | |

Contrastes

| Tratamiento | Contraste | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|-----------|------------|----|------------|-------|---------|
| Contraste1 | -93,39 | 13083,47 | 1 | 13083,47 | 0,03 | 0,8577 |
| Contraste2 | 406,08 | 197884,41 | 1 | 197884,41 | 0,50 | 0,4887 |
| Contraste3 | 312,69 | 117330,04 | 1 | 117330,04 | 0,30 | 0,5928 |
| Contraste4 | -292,70 | 114231,05 | 1 | 114231,05 | 0,29 | 0,5977 |
| Contraste5 | -1566,38 | 4907092,61 | 1 | 4907092,61 | 12,45 | 0,0028 |
| Contraste6 | 1300,37 | 2898807,10 | 1 | 2898807,10 | 7,36 | 0,0154 |
| Contraste7 | -560,17 | 627586,46 | 1 | 627586,46 | 1,59 | 0,2250 |
| Contraste8 | -572,74 | 437378,63 | 1 | 437378,63 | 1,11 | 0,3077 |
| Total | | 7923497,36 | 7 | 1131928,19 | 2,87 | 0,0381 |

Aceite

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------|----|----------------|-------------------|------|
| Mat. Grasa | 24 | 0,27 | 0,00 | 1,20 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo. | 0,42 | 9 | 0,05 | 0,57 | 0,8021 |
| Bloque | 0,02 | 2 | 0,01 | 0,14 | 0,8688 |
| Tratamiento | 0,40 | 7 | 0,06 | 0,69 | 0,6803 |
| Error | 1,15 | 14 | 0,08 | | |
| Total | 1,57 | 23 | | | |

Contrastes

| Tratamiento | Contraste | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|-----------|---------|----|---------|------|---------|
| Contraste1 | -0,10 | 0,01 | 1 | 0,01 | 0,18 | 0,6756 |
| Contraste2 | 0,20 | 0,06 | 1 | 0,06 | 0,73 | 0,4071 |
| Contraste3 | 0,10 | 0,02 | 1 | 0,02 | 0,18 | 0,6756 |
| Contraste4 | -0,23 | 0,08 | 1 | 0,08 | 0,99 | 0,3356 |
| Contraste5 | -0,10 | 0,01 | 1 | 0,01 | 0,18 | 0,6756 |
| Contraste6 | 0,20 | 0,06 | 1 | 0,06 | 0,73 | 0,4071 |
| Contraste7 | 0,03 | 1,7E-03 | 1 | 1,7E-03 | 0,02 | 0,8888 |
| Contraste8 | 0,10 | 0,02 | 1 | 0,02 | 0,18 | 0,6756 |
| Total | | 0,40 | 7 | 0,06 | 0,69 | 0,6803 |

Proteína

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| Proteina | 24 | 0,26 | 0,00 | 1,82 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo. | 2,16 | 9 | 0,24 | 0,55 | 0,8175 |
| Bloque | 0,35 | 2 | 0,18 | 0,40 | 0,6784 |
| Tratamiento | 1,81 | 7 | 0,26 | 0,59 | 0,7546 |
| Error | 6,16 | 14 | 0,44 | | |
| Total | 8,32 | 23 | | | |

Contrastes

| Tratamiento | Contraste | SC | gl | CM | F | p-valor | |
|-------------|------------|-------|------|------|------|---------|--------|
| | Contraste1 | 0,30 | 0,13 | 1 | 0,13 | 0,31 | 0,5883 |
| | Contraste2 | -0,20 | 0,06 | 1 | 0,06 | 0,14 | 0,7174 |
| | Contraste3 | 0,10 | 0,01 | 1 | 0,01 | 0,03 | 0,8561 |
| | Contraste4 | 0,50 | 0,38 | 1 | 0,38 | 0,85 | 0,3714 |
| | Contraste5 | 0,13 | 0,03 | 1 | 0,03 | 0,06 | 0,8091 |
| | Contraste6 | -0,43 | 0,28 | 1 | 0,28 | 0,64 | 0,4369 |
| | Contraste7 | -0,20 | 0,06 | 1 | 0,06 | 0,14 | 0,7174 |
| | Contraste8 | -0,23 | 0,08 | 1 | 0,08 | 0,19 | 0,6731 |
| | Total | 1,81 | 7 | 0,26 | 0,59 | 0,7546 | |

Medidas de resumen

Rendimiento

| Tratamiento | Variable | n | Media | D.E. | CV | Mín | Máx |
|-------------|-------------|---|---------|---------|-------|---------|---------|
| 1 | Rendimiento | 3 | 5746,36 | 1519,15 | 26,44 | 3996,32 | 6725,52 |
| 2 | Rendimiento | 3 | 5652,97 | 189,83 | 3,36 | 5471,26 | 5850,00 |
| 3 | Rendimiento | 2 | 6059,05 | 981,53 | 16,20 | 5365,00 | 6753,10 |
| 4 | Rendimiento | 4 | 5766,35 | 1083,80 | 18,80 | 4489,66 | 6879,31 |
| 5 | Rendimiento | 4 | 4199,97 | 350,46 | 8,34 | 3674,48 | 4387,87 |
| 6 | Rendimiento | 3 | 5500,34 | 423,86 | 7,71 | 5020,69 | 5824,48 |
| 7 | Rendimiento | 4 | 5206,18 | 431,90 | 8,30 | 4678,39 | 5628,10 |
| 8 | Rendimiento | 4 | 5486,31 | 307,90 | 5,61 | 5159,48 | 5893,22 |

Aceite

| Tratamiento | Variable | n | Media | D.E. | CV | Mín | Máx |
|-------------|------------|---|-------|------|------|-------|-------|
| 1 | Mat. Grasa | 3 | 23,83 | 0,40 | 1,70 | 23,40 | 24,20 |
| 2 | Mat. Grasa | 3 | 23,73 | 0,06 | 0,24 | 23,70 | 23,80 |
| 3 | Mat. Grasa | 3 | 23,93 | 0,21 | 0,87 | 23,70 | 24,10 |
| 4 | Mat. Grasa | 3 | 23,70 | 0,10 | 0,42 | 23,60 | 23,80 |
| 5 | Mat. Grasa | 3 | 23,60 | 0,26 | 1,12 | 23,30 | 23,80 |
| 6 | Mat. Grasa | 3 | 23,80 | 0,36 | 1,51 | 23,50 | 24,20 |
| 7 | Mat. Grasa | 3 | 23,73 | 0,40 | 1,70 | 23,30 | 24,10 |
| 8 | Mat. Grasa | 3 | 24,03 | 0,06 | 0,24 | 24,00 | 24,10 |

Proteína

| Tratamiento | Variable | n | Media | D.E. | CV | Mín | Máx |
|-------------|----------|---|-------|------|------|-------|-------|
| 1 | Proteína | 3 | 36,07 | 0,23 | 0,64 | 35,80 | 36,20 |
| 2 | Proteína | 3 | 36,37 | 0,55 | 1,51 | 35,80 | 36,90 |
| 3 | Proteína | 3 | 36,17 | 0,15 | 0,42 | 36,00 | 36,30 |
| 4 | Proteína | 3 | 36,67 | 0,55 | 1,50 | 36,10 | 37,20 |
| 5 | Proteína | 3 | 36,80 | 0,66 | 1,78 | 36,10 | 37,40 |
| 6 | Proteína | 3 | 36,37 | 0,95 | 2,60 | 35,30 | 37,10 |
| 7 | Proteína | 3 | 36,47 | 1,05 | 2,88 | 35,40 | 37,50 |
| 8 | Proteína | 3 | 35,93 | 0,38 | 1,05 | 35,50 | 36,20 |



Ingeniería en Producción Agropecuaria

“Efectos de distintos nutrientes sobre el rendimiento y la calidad de la soja en el establecimiento “Don Roberto”, General Villegas, provincia de Buenos Aires.”

Trabajo final de graduación para optar por el título de:
Ingeniero en Producción Agropecuaria

Autor: Gómez Rocío

Profesor Tutor: Ing. Agr. Inés Davèrède, PhD

Fecha: 2016

Resumen:

El cultivo de soja es una de las leguminosas más importantes del mundo debido a su importancia para la alimentación humana y animal, tanto por la proteína como el aceite. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto que tienen distintos nutrientes sobre el rendimiento, porcentaje de proteína y aceite en el cultivo de soja. Para ello se diagramó un diseño aleatorizado en 4 bloques de 8 parcelas cada uno, con 4 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos fueron los siguientes: **1.** Testigo, **2.** 20 kg 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 + 100g B en R1-R2) ha⁻¹, **5.** (22 kg de P + 13.2 kg de S + 100g B en R1-R2 + 10 kg N foliar baja dosis en R5) ha⁻¹, **6.** (22 kg de P + 13.2 kg de S + 100g B en R1-R2 + 20 kg N foliar alta dosis en R5) ha⁻¹, **7.** (22 kg de P + 13 kg de S + 100g B en R1-R2 + 1,3 kg Zn) ha⁻¹, **8.** Doble dosis (44 kg de P + 26,4 kg de S) ha⁻¹. El porcentaje de proteína y aceite no tuvieron diferencias estadísticas significativas entre los diversos tratamientos, rondando sus valores en 36% y 23,8 %, respectivamente. El rendimiento promedió 5450 kg ha⁻¹; contrariamente a lo esperado y sin explicación fisiológica, el tratamiento con una alta dosis de N foliar respondió positivamente mientras que el tratamiento con una baja dosis de N foliar respondió en forma negativa.

Agradecimientos:

Quiero agradecer en primer lugar a mi familia, quien me brindó todo su apoyo durante la carrera, para que pueda crecer y obtener así el título de una carrera universitaria. También agradecerles porque me dieron la posibilidad de realizar el ensayo en el campo, y su predisposición para que pueda concretarlo.

A otra persona que quiero darle las gracias es a mi tutora de tesis, la Ing. Agr. Inés Davèrède, quien me ayudó y me guió durante la realización de todo el proyecto. Siempre me dio las herramientas necesarias para la escritura del mismo y su tiempo para que pueda concluir con dicho trabajo de la mejor manera.

También agradecer a Bunge Argentina S.A, quién me brindó los fertilizantes utilizados, y se encargó de los costos referidos al análisis de suelo, realizado en Tecnoagro SRL.

Por último quiero agradecer a la Facultad de Ciencias Agrarias de la UCA por brindarme todos los conocimientos adquiridos durante la carrera, los cuales me ayudarán para insertarme en el mundo laboral, y para poder desarrollarme con ética y moral en la profesión. No quiero dejar de nombrar a mis amigos también, quienes me acompañaron en todo momento y brindaron su granito de arena para que este trabajo llegue a su fin con resultados positivos.

Índice:

| | |
|---|----|
| Introducción | 5 |
| Hipótesis | 8 |
| Objetivo general | 8 |
| Materiales y métodos | 9 |
| Métodos y procedimientos | 9 |
| Análisis estadístico | 10 |
| Resultados | 10 |
| Discusión | 13 |
| Conclusiones | 15 |
| Bibliografía | 16 |
| Anexos | 18 |
| Contrastes de rendimiento y análisis de varianza | 18 |
| Contrastes de aceite y análisis de varianza | 19 |
| Contrastes de proteína y análisis de varianza | 20 |
| Medidas de resumen | 21 |

Introducción:

La soja (*Glycine max, L.*) es una especie de la familia de las leguminosas cultivada por sus semillas, las cuales tienen un contenido aproximado de aceite de 20 % y un 40 % de proteína. El grano de soja y sus subproductos (aceite y harina de soja principalmente) se utilizan en la alimentación humana y animal, siendo muy importante en la industria de las raciones (Muñoz, 2012). La Argentina es exportador marginal de poroto de soja debido a que más del 80% de la soja se industrializa y se exporta como aceite, harina y biodiesel. A nivel mundial, Argentina es el tercer exportador de grano, luego de Estados Unidos y de Brasil, pero es el primer exportador de aceites y harinas proteicas. (Cuniberti, 2011). Los porcentajes de aceite y proteína de las semillas son influenciados por efectos genéticos y ambientales.

Con la intensificación de la agricultura Argentina y la falta de rotaciones con pasturas, se produjo una notable disminución de los niveles de MO y de nutrientes de los suelos de la región pampeana, los cuales, en algunas zonas, representan menos de la mitad de los niveles originales. El mismo proceso de intensificación llevó al productor a hacer un uso mucho mayor de los fertilizantes, al punto de triplicar en un lapso de 20 años el consumo en la mayor región productora de granos del país. Este mayor uso de fertilizantes nitrogenados, fosfatados y azufrados, nutrientes vinculados al ciclo de la materia orgánica, achicó la brecha causada por la extracción resultante de los cultivos y la exportación de los granos (Sainz Rozas, 2012).

Respecto al impacto de la nutrición en la producción, nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) son los nutrientes que en mayor medida limitan el rendimiento, mientras que los cationes como potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) lo hacen solo en situaciones particulares y los micronutrientes pueden hacerlo en ambientes de alta producción (Salvagiotti, 2013). El N es el de mayor demanda en el cultivo, 80 kg tn⁻¹ de grano producido, mayoritariamente cubierto a partir del proceso de fijación biológica de N atmosférico (FBN) en la simbiosis entre la leguminosa y los rizobios (García, 2000).

Durante mucho tiempo se ha evitado recomendar aplicaciones de N en soja debido a que el proceso de fijación biológica es una consecuencia de un ambiente carente de nitrógeno, y una dosis excesiva del mismo puede inhibir la nodulación, lo que ocasionaría la baja del rinde. Sin embargo según ensayos del INTA Rafaela, la aplicación con N como fertilizante aumenta el rendimiento del cultivo (Fontanetto, 2009).

Si consideramos los niveles de P en la mayoría de los suelos de la región Pampeana (siendo el umbral 9-10 mg kg⁻¹), los mismos se encuentran en niveles inferiores al umbral de respuesta a la fertilización (Díaz Zorita, 2002). La adecuada nutrición fosfatada del cultivo resulta en mayor crecimiento y desarrollo del cultivo, maduración temprana y mayor desarrollo de nódulos. Se conoce que la aplicación del fósforo tiene mayor eficiencia

cuando se coloca concentrado en bandas que cubren sólo el 2,5% del volumen de suelo. Cuando hablamos del S, la deficiencia en soja puede reducir la síntesis de las enzimas que forman parte del aparato fotosintético. Se considera también que debido a la estrecha relación entre el metabolismo del S y del N, las deficiencias del primero afectan la asimilación y concentración de N en las hojas (Galarza, 2001). Los sitios deficientes en S se caracterizan por poseer bajo contenido de materia orgánica (en muchos casos producida por el intenso uso agrícola) y/o alto contenido de arena. Hasta el momento, no se ha podido encontrar un umbral de sulfatos confiable (Echeverría et al., 2002).

Los micronutrientes como el boro (B), el cobre (Cu) y el zinc (Zn) son elementos esenciales para el crecimiento y reproducción vegetal, ya que su deficiencia repercute negativamente en la producción, tanto en el rendimiento como en la calidad, principalmente, en una menor eficiencia de uso del resto de los factores de producción, como agua, nutrientes de los fertilizantes y potencial genético de las variedades e híbridos mejorados (Sainz Rozas, 2012). Sólo una fertilización balanceada va a ayudar a capitalizar el aporte de residuos de los cultivos y su incorporación como parte estable de la MO del suelo. Mientras la extracción de los cultivos sea mayor a los aportes de nutrientes externos la degradación de los suelos continuará.

La fertilización se plantea entonces como una técnica para mejorar no solo el rendimiento del cultivo sino también la nutrición de los suelos, que brindará mayores producciones en forma estable a través de los años.

Los niveles de proteína de la soja vienen bajando en la zona núcleo argentina en los últimos años. Esto no solo se debe al no uso de semillas de alta calidad genética, sino también a otros factores como son los niveles de P y S, los cuales tienen un efecto marcado sobre el contenido de proteína en el grano (Rossi, 2013).

La calidad de la materia prima a procesar cumple un rol fundamental en la definición de la calidad del producto o subproducto final del proceso. Las condiciones ambientales de cada año, sumado a las variedades difundidas, fechas de siembra y manejo del cultivo, hacen que la calidad no sea la misma en el norte que en el centro y sur del área sojera. El poroto de soja se caracteriza por presentar altos contenidos de aceite y relativamente baja proteína, sobre todo en la zona Pampeana, aunque en latitudes menores (norte del país) esta relación no se cumple, dando valores altos de proteína y aceite a la vez. El rendimiento y la proteína se correlacionan inversamente, de manera que a menor rendimiento la proteína aumenta. En cambio, el contenido de aceite se correlaciona positivamente con el rendimiento, teniendo a mayor rinde mayor contenido de aceite (Cuniberti, 2006).

Hace varios años, el porcentaje de proteína y aceite eran bajos, pero desde la campaña 07-08 se observa un aumento de ambos parámetros, debiéndose fundamentalmente a factores climáticos. En la campaña 2013/2014 de soja, aparecieron preocupantes niveles de calidad industrial del poroto de soja, no sólo por el bajo tenor proteico (38%) sino también por la reducción en el contenido de materia grasa, lo que hace que el PROFAT del grano (indicador de calidad que mide el contenido conjunto de proteína + materia grasa) se encuentre en niveles bajos, siendo su umbral 61% en base seca (Martínez, 2015). Para mejorar la expresión de la cantidad de proteína y aceite se debería enfocar el mejoramiento genético no solo a mayor productividad sino también mejor calidad (Cuniberti, 2011). Los bajos niveles de proteína en grano originan harinas de poca calidad; mientras que los bajos niveles de materia grasa causan una menor obtención de aceite a partir del proceso de extracción. Lo anterior se debe a que el mercado de hoy no se interesa por producir un grano con alto tenor proteico, sino que el mejoramiento genético se enfoca a aumentar los rendimientos. Esto deriva en que la industria procesadora debe realizar esfuerzos crecientes para mantener la cantidad y el valor de las exportaciones (Matteo, 2014).

En la campaña 1998/99 el INTA de Casilda realizó una red de ensayos para observar si había impacto de la fertilización sobre la calidad del grano producido. Los efectos de la fertilización en aceite, proteína y ProFat (% aceite + % proteína) se evaluaron comparando las concentraciones de estas variables entre los testigos y los tratamientos fertilizados. Llegaron a la conclusión que la fertilización tendió a disminuir la concentración de aceite, y a aumentar la de proteína y el ProFat (Cordone et al, 2011). Otras fuentes mencionan que fertilizando con N, sabiendo que el N total del suelo podría estar disminuyendo, a la larga disminuiría la proteína. Bassi (2014) menciona que el aporte de S y P en un corto lapso mejora la proteína del grano, pero hoy en día aún faltan datos que lo corroboren.

Si subestimamos los requerimientos de los cultivos, lógicamente traerá aparejado una merma en los rendimientos, además de generar un impacto negativo sobre el principal recurso productivo y patrimonio del productor: el suelo (Pussetto, 2012).

En nuestro país existen muy pocas referencias acerca del impacto de la nutrición del cultivo sobre la concentración de proteína y aceite en el grano de soja. Este ensayo, junto a una red de ensayos que comenzó en el año 2013, evalúa el efecto de distintos nutrientes sobre la calidad del grano.

Hipótesis

- ✓ La aplicación de fósforo (P) a la siembra aumentará el rendimiento, la concentración de aceite y disminuirá la proteína de la soja respecto al testigo.
- ✓ La aplicación de fósforo (P) y azufre (S) a la siembra aumentará el rendimiento, el aceite y disminuirá la proteína de la soja respecto a la aplicación de P a la siembra.
- ✓ La aplicación de P y S a la siembra aumentará el rendimiento, el aceite y disminuirá la proteína de la soja respecto al testigo.
- ✓ La aplicación de boro (B) en presencia de S y P aumentará el rendimiento, la concentración de aceite y disminuirá la proteína respecto a la aplicación de P y S.
- ✓ La aplicación de nitrógeno (N) foliar en baja dosis en etapa R5, en presencia de B, P, S aumentará el rendimiento, aceite y la proteína de la soja respecto a la aplicación sin N.
- ✓ La aplicación de N foliar en alta dosis en etapa R5, en presencia de B, P, S aumentará el rendimiento, el aceite y la proteína de la soja respecto a la aplicación con baja dosis.
- ✓ La aplicación de cinc (Zn) en presencia de B, S y P aumentará el rendimiento, la concentración de aceite y disminuirá la proteína respecto a la aplicación sin Zn.
- ✓ La aplicación de doble dosis a la siembra de P y S aumentará el rendimiento, aceite y la proteína de la soja respecto a la aplicación simple.

Objetivo General

El objetivo de este proyecto es evaluar el efecto que tienen distintos nutrientes sobre el rendimiento, porcentaje de proteína y aceite en el cultivo de soja.

- ✓ Evaluar el efecto de la fertilización pre-siembra con azufre(S), fósforo (P) y zinc (Zn) sobre el rendimiento y la concentración de proteína y aceite en el grano de soja.
- ✓ Evaluar el efecto de la fertilización de boro (B) en presencia de S y P, sobre el rendimiento, la proteína y el aceite del grano de soja.
- ✓ Evaluar el efecto de la fertilización foliar con nitrógeno(N) en alta o baja dosis, sobre el rendimiento, la proteína y el aceite del grano de soja.

Materiales y métodos:

El ensayo se realizó con un diseño en bloque completos aleatorizados (DBCA), con 8 tratamientos, y 4 repeticiones en el establecimiento “Don Roberto”, ubicado en la ruta 33, a 19 km de la ciudad de General Villegas. Desde hace varios años, en dicho campo se realiza agricultura, mediante la siembra directa. Los suelos son de clase textural franca, con riesgo de inundación debido a la falta de drenaje que poseen en los bajos. Las unidades experimentales fueron parcelas de 3m x 5m, totalizando 32 unidades experimentales.

Tabla 1: Dosis de nutrientes aplicados en cada tratamiento.

| Nro trt | Tratamientos | Kg/ha SFT o MEZ (trt 7) | Kg/ha SFS | N siembra Kg/ha | P Kg/ha | S Kg/ha | N foliar Kg/h a | Zn Kg/ ha |
|--------------------|---|--|----------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 1 | Testigo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 2 | P (SFT) | 110 | 0 | 0 | 22 | 0 | 0 | |
| 3 | P y S (SFT + SFS) | 60 | 110 | 0 | 22 | 13,2 | 0 | |
| 4 | P y S + 100 gr B R1-R2 | 60 | 110 | 0 | 22 | 13,2 | 0 | |
| 5 | P y S + 100 gr B R1-R2 + N foliar baja dosis R 5 | 60 | 110 | 0 | 22 | 13,2 | 10 | |
| 6 | P y S + 100 gr B R1-R2 + N foliar alta dosis R 5 | 60 | 110 | 0 | 22 | 13,2 | 20 | |
| 7 | P y S + 100 gr B R1-R2 + Zn | 130 | 110 | 9,1 | 22 | 13 | 0 | 1,3 |
| 8 | Doble dosis P y S | 120 | 220 | 0 | 44 | 26,4 | 0 | |

Métodos y procedimientos:

Se sembró la variedad de soja Don Mario 4712, previamente inoculada, sembrada el 31/10, a 35 cm de distancia entre los surcos, con una máquina Bertini 3200, neumática. Los tratamientos fueron distribuidos antes de la siembra, a mediados de septiembre de forma manual, aleatoria. Se realizaron dos aplicaciones de fertilizantes foliares luego de la siembra. Una fue en estadio R1 del cultivo, con Foliarsol B (100 gr de B) y la otra con Foliarsol U que contiene N foliar, la cual se aplicó en R5. Ambas se llevaron a cabo con un rociador de mano. El 10 de abril se cosecharon 2m² manualmente de cada tratamiento y luego se realizó la trilla con una trilladora manual que fue facilitada por el INTA de General Villegas, la cual utilizan para sus propios ensayos.

Análisis estadístico:

Para realizar la comparación entre los tratamientos, se utilizaron contrastes previamente planificados, mediante el programa estadístico InfoStat (2015). Se consideraron significativas aquellas pruebas con valor $p < 0.10$, para las variables en estudio rendimiento, proteína y aceite.

Resultados:

Los análisis de suelo del ensayo presentaron los siguientes resultados: pH agua 6,1; 2,09 % materia orgánica, 9,1 mg kg⁻¹ PBray, 4,5 mgkg⁻¹ de S, 10,9 meq 100g⁻¹ de CIC, 78,9 kg de N ha⁻¹ de 0 a 60 cm.

La campaña 2014-2015 se caracterizó por abundantes precipitaciones caídas durante el ciclo del cultivo (Tabla 2), 614 mm desde noviembre a abril, lo que benefició su implantación y crecimiento. Las mayores precipitaciones se dieron en los meses de enero, febrero y marzo (387 mm), permitiendo así un mayor desarrollo de la planta y mejor llenado de vaina.

Tabla 2: Precipitaciones históricas de General Villegas.

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | SUMA |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2005 | 199,0 | 54,5 | 253,5 | 18,5 | 2,5 | 12,0 | 50,8 | 25,0 | 37,5 | 38,4 | 164,6 | 37,8 | 894,1 |
| 2006 | 210,2 | 66,0 | 148,0 | 91,8 | 11,2 | 8,6 | 10,6 | 0,6 | 10,4 | 189,2 | 87,6 | 156,2 | 990,4 |
| 2007 | 113,2 | 151,4 | 228,0 | 31,8 | 14,2 | 17,4 | 1,8 | 1,8 | 85,8 | 48,8 | 29,2 | 99,3 | 822,7 |
| 2008 | 92,8 | 68,2 | 54,2 | 9,0 | 1,6 | 16,0 | 30,0 | 0,0 | 30,0 | 96,2 | 131,0 | 43,8 | 572,8 |
| 2009 | 25,0 | 110,8 | 42,0 | 55,0 | 20,0 | 0,2 | 29,0 | 1,4 | 79,6 | 9,6 | 121,0 | 310,6 | 804,2 |
| 2010 | 216,6 | 147,2 | 26,6 | 38,2 | 22,6 | 14,0 | 4,4 | 2,4 | 106,8 | 64,2 | 18,6 | 25,6 | 687,2 |
| 2011 | 127,2 | 83,2 | 50,4 | 99,8 | 10,2 | 7,0 | 10,8 | 0,6 | 7,8 | 78,0 | 61,8 | 2,8 | 539,6 |
| 2012 | 79,8 | 283,0 | 126,6 | 70,6 | 78,8 | 6,0 | 0,4 | 68,6 | 60,4 | 270,6 | 169,6 | 60,2 | 1274,6 |
| 2013 | 7,6 | 19,8 | 104,4 | 35,2 | 47,6 | 3,8 | 17,8 | 0,4 | 39,4 | 71,2 | 104,4 | 77,8 | 529,4 |
| 2014 | 67,4 | 124,4 | 104,2 | 172,2 | 76,6 | 4,4 | 11,4 | 4,0 | 87,0 | 70,2 | 72,8 | 78,6 | 873,2 |
| 2015 | 96,6 | 92,0 | 85,0 | 129,4 | 87,6 | 3,8 | 2,4 | 12,6 | 19,6 | 130,2 | | | 659,2 |

Fuente: Inta General Villegas

Respecto a las temperaturas durante el ciclo del cultivo, las temperaturas máximas ocurrieron en el mes de enero (32-33°C), mientras que el mes más frío fue abril, ya a partir del 20 de marzo las temperaturas descendieron, con una mínima de 12-13°C.

Como puede observarse en la tabla 3, no se encontraron diferencias significativas entre la mayoría de las comparaciones entre tratamientos de interés para la variable rendimiento. Se

encontraron diferencias significativas solo frente a la aplicación de N foliar en alta y baja dosis, pero no se llegó a una respuesta lógica ya que según la fisiología del cultivo estas no deberían oponerse como lo muestra la tabla 2. Si analizamos la respuesta a baja dosis, el rendimiento del cultivo disminuyó 1566 kg ha^{-1} , mientras que con alta dosis el rendimiento aumentó 1300 kg ha^{-1} . Es difícil explicar estos resultados debido a que si nos ponemos del lado de la fisiología de la planta, si se aplicara una alta dosis de N foliar y la planta sufriese fitotoxicidad, como ocurrió en otras localidades, el rendimiento debería ser negativo. Pero al aumentar tantos kg, no se obtuvo explicación. El rendimiento promedio fue de 5450 kg ha^{-1} .

Tabla 3: Contrastes entre tratamientos de interés para la variable rendimiento en soja en el partido de General Villegas: **1.** Testigo, **2.** 20 kg P ha^{-1} , **3.** $(22 \text{ kg de P} + 13.2 \text{ kg de S}) \text{ ha}^{-1}$, **4.** $(22 \text{ kg de P} + 13.2 \text{ kg de S} + 100\text{gr B en R1-R2}) \text{ ha}^{-1}$, **5.** $(22 \text{ kg de P} + 13.2 \text{ kg de S} + 100\text{gr B en R1-R2} + 10 \text{ kg N foliar baja dosis en R5}) \text{ ha}^{-1}$, **6.** $(22 \text{ kg de P} + 13.2 \text{ kg de S} + 100\text{gr B en R1-R2} + 20 \text{ kg N foliar alta dosis en R5}) \text{ ha}^{-1}$, **7.** $(22 \text{ kg de P} + 13 \text{ kg de S} + 100\text{gr B en R1-R2} + 1,3 \text{ kg Zn}) \text{ ha}^{-1}$, **8.** Doble dosis $(44 \text{ kg de P} + 26,4 \text{ kg de S}) \text{ ha}^{-1}$.

| | Contraste | Rendimiento | p- valor |
|---|------------------|--------------------|-----------------|
| Respuesta al P | 2 vs 1 | -93,39 | 0,8577 |
| Respuesta al S | 3 vs 2 | 406,08 | 0,4887 |
| Respuesta al P y S | 3 vs 1 | 312,69 | 0,5928 |
| Respuesta al B | 4 vs 3 | -292,7 | 0,5977 |
| Respuesta a baja dosis de N foliar | 5 vs 4 | -1566,38 | 0,0028 |
| Respuesta a alta dosis de N foliar | 6 vs 5 | 1300,37 | 0,0154 |
| Respuesta al Zn | 7 vs 4 | -560,17 | 0,2250 |
| Respuesta a la doble dosis con P y S | 8 vs 3 | -572,74 | 0,3077 |

No se observaron diferencias significativas en ninguno de los contrastes respecto a la variable proteína, promediando 36% (tabla 4).

Tabla 4: Contrastes entre tratamientos de interés para la variable proteína en soja en el partido de General Villegas:

| | Contraste | Proteína | p- valor |
|--------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Respuesta al P | 2 vs 1 | 0,3 | 0,5883 |
| Respuesta al S | 3 vs 2 | -0,3 | 0,7174 |
| Respuesta al P y S | 3 vs 1 | 0,1 | 0,8561 |
| Respuesta al B | 4 vs 3 | 0,5 | 0,3714 |
| Respuesta a baja dosis de N foliar | 5 vs 4 | 0,13 | 0,8091 |
| Respuesta a alta dosis de N foliar | 6 vs 5 | -0,43 | 0,4369 |
| Respuesta al Zn | 7 vs 4 | -0,2 | 0,7174 |
| Respuesta a la doble dosis con P y S | 8 vs 3 | -0,23 | 0,6731 |

No se observaron diferencias significativas en ninguno de los contrastes respecto a la variable aceite, promediando 23,8% (tabla 5).

Tabla 5: Contrastes entre tratamientos de interés para la variable aceite en soja en el partido de General Villegas:

| | Contraste | Aceite | p- valor |
|--------------------------------------|------------------|---------------|-----------------|
| Respuesta al P | 2 vs 1 | -0,10 | 0,6756 |
| Respuesta al S | 3 vs 2 | 0,20 | 0,4071 |
| Respuesta al P y S | 3 vs 1 | 0,10 | 0,6756 |
| Respuesta al B | 4 vs 3 | -0,23 | 0,3356 |
| Respuesta a baja dosis de N foliar | 5 vs 4 | -0,10 | 0,6756 |
| Respuesta a alta dosis de N foliar | 6 vs 5 | 0,20 | 0,4071 |
| Respuesta al Zn | 7 vs 4 | 0,03 | 0,8888 |
| Respuesta a la doble dosis con P y S | 8 vs 3 | 0,10 | 0,6756 |

Los promedios de proteína, aceite y rendimiento para cada tratamiento se detallan en la tabla 6.

Tabla 6: Promedios de las 3 variables analizadas en el cultivo de soja en Gral. Villegas, provincia de Buenos Aires.

| | Tratamientos | Proteína | Aceite | Rendimiento |
|---|--|-----------------|---------------|--------------------|
| 1 | Testigo | 36,1 | 23,8 | 5746 |
| 2 | P (SFT) | 36,4 | 23,7 | 5653 |
| 3 | P y S (SFT + SFS) | 36,2 | 23,9 | 6059 |
| 4 | P y S + 100 gr B R1-R2 | 36,7 | 23,7 | 5766 |
| 5 | P y S + 100 gr B R1-R2 + N foliar baja dosis R 5 | 36,8 | 23,6 | 4200 |
| 6 | P y S + 100 gr B R1-R2 + N foliar alta dosis R 5 | 36,4 | 23,8 | 5500 |
| 7 | P y S + 100 gr B R1-R2 + Zn | 36,5 | 23,7 | 5206 |
| 8 | Doble dosis P y S | 35,9 | 24,0 | 5486 |

Discusión:

En este ensayo no se puede aceptar la hipótesis de que la respuesta al fósforo aumenta el rendimiento, aceite y disminuye la proteína debido a que no hubo diferencias significativas para ninguna de las variables analizadas. Esto puede explicarse porque el suelo presenta 9,1 mg kg⁻¹ de P, lo que indica la cantidad adecuada del nutriente para el desarrollo del cultivo, ya que se usa el valor de 9 - 10 ppm de fósforo extractable como umbral crítico para decidir la fertilización (Galarza, 2001). Si el valor fuese menor a 9 ppm, allí posiblemente habría respuesta del cultivo en rendimiento, como mencionaron Melgar y col (1995), quienes determinaron que en suelos con niveles de P menores a 9 ppm, determinados por el método de Bray y Kurtz 1, es factible obtener respuestas mayores a 300 kg ha⁻¹ por fertilización fosfatada.

Con respecto a la hipótesis planteada de respuesta al agregado de S, tampoco se encontraron respuestas significativas de las tres variables analizadas. Se comparó el tratamiento que contiene P únicamente, respecto al tratamiento de P y S combinados, aplicándose 13,2 kg ha⁻¹ de S + 22 kg ha⁻¹ de P. Según Martínez y Cordone (1998), la respuesta al S ha sido observada principalmente en suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente soja), y con historia de cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada. Estas condiciones definen los ambientes de mayor probabilidad de respuesta a la fertilización azufrada y el sitio del ensayo no está degradado ni tiene muchos años de agricultura.

En la región pampeana no se han detectado deficiencias en forma visual de micronutrientes (B, Zn, Cl, Cu, Mo, etc), aunque es sabido que las mismas pueden estar relacionadas con

suelos de baja fertilidad o intensamente cultivados (Fancelli, 2006). Las hipótesis que se plantearon sobre la fertilización con Boro o con Cinc (Zn), tampoco fueron positivas en las variables analizadas. El rendimiento disminuyó alrededor de 290 kg ha^{-1} con la aplicación de B, mientras que con Zn disminuyó 500 kg ha^{-1} , pero en ambos casos no fue significativo. Cabe destacar que en varios ensayos se determinaron contenidos de Zn y B en suelo por debajo de los umbrales citados en la literatura, según mencionan Ferraris y Gutierrez Boem (2001-2002).

La fertilización con N es considerada una técnica de aplicación de nutrientes muy eficiente para las plantas con el fin de mejorar su rendimiento. Los resultados encontrados sobre la respuesta de la soja en rendimiento y calidad a la aplicación de N en distintas fuentes bibliográficas han sido muy diversos, y no existe una respuesta única para su interpretación. Salvagiotti (2009), menciona en ensayos realizados en el año 2006-2007 en la Universidad de Nebraska, Lincoln, que la fertilización con N en los distintos tratamientos, y en combinación con otros fertilizantes, aumentó el rendimiento del cultivo de soja.

Bassi (2014) indicó que, al comenzar la etapa de llenado de granos (R5), se presentan situaciones de compromiso para el N presente en las hojas, que puede ser remobilizado al grano para formar parte de las proteínas, o permanecer en las hojas para mantener la producción de carbohidratos, que finalmente tendrán como destino el grano (allí aumentan rendimiento y diluyen proteína) y los excedentes se destinan a los nódulos para mantener activa la FBN durante todo el ciclo.

A través de las hipótesis planteadas sobre la aplicación foliar con N en alta y baja dosis, se encontraron respuestas significativas a la variable rendimiento. Aplicando alta dosis de N foliar, el rendimiento de la soja aumentó 1300 kg ha^{-1} , mientras que con baja dosis el rendimiento disminuyó -1566 kg ha^{-1} . No existe respuesta alguna sobre dichos resultados, debido a que si se agrega N foliar en alta o baja dosis, el rendimiento debería aumentar o disminuir en conjunto.

La última hipótesis planteada fue la fertilización con doble dosis de P y S, en donde se compararon los tratamientos 8 ($44 \text{ kg de P} + 26,4 \text{ kg de S}$) y 3 ($22 \text{ kg de P} + 13,2 \text{ kg de S}$), respectivamente. Al igual que en los casos anteriores, no hubo respuestas significativas a las variables rendimiento, aceite y proteína, probablemente por las cantidades suficientes de dichos nutrientes en el suelo.

Conclusiones:

- La aplicación de P a la siembra (tratamiento 2) no aumentó el rendimiento y el aceite, ni disminuyó el porcentaje de proteína como se planteó en la primera hipótesis.
- La aplicación de P y S a la siembra (tratamiento 3) no aumentó el rendimiento y el aceite, ni disminuyó el porcentaje de proteína como planteó la segunda hipótesis.
- La aplicación de B en presencia de P y S a la siembra (tratamiento 4) no aumentó el rendimiento ni el aceite, ni disminuyó el porcentaje de proteína como planteó la cuarta hipótesis.
- La aplicación de una simple dosis de P y S pre-siembra juntos con aplicación de B y N foliar en baja dosis en R5 no aumentó el aceite ni la proteína como lo planteado en la hipótesis. Sí hubo una respuesta significativa para el rendimiento, disminuyendo en un 27% (1566 kg ha^{-1}).
- La aplicación de una simple dosis de P y S pre-siembra juntos con aplicación de B y N foliar en alta dosis en R5 no aumentó el aceite ni la proteína como lo planteado en la sexta hipótesis. Sí hubo respuesta al rendimiento, aumentando el mismo en un 31 % (1300 kg ha^{-1}).
- La aplicación de Zn a la siembra (tratamiento 7) junto con la aplicación de B, P, S, no dio respuestas significativas al rendimiento, aceite y proteína como fue planteado en la séptima hipótesis.
- La aplicación de doble dosis de P y S a la siembra (tratamiento 8) no aumentó el rendimiento, el aceite ni la proteína como planteó la última hipótesis.

Los tratamientos de fertilización no generaron respuestas significativas en la mayoría de los casos evaluados para dicha campaña en la zona de Gral. Villegas.

Bibliografía

- ACSOJA 2015. Histórico soja. En: www.acsoja.org.ar/contenido.asp?cid=677. (revisado 22 de agosto 2015)
- Bassi J. 2014. Fertilización en soja: Calidad y Producción. Asociación Civil Fertilizar. En: <http://seminario2014.acsoja.org.ar/wp-content/uploads/2014/05/ACS-Seminario-Presentacion-Bassi.pdf>
- Cordone G., C. Vidal, R. Albrecht, F. Martinez y L. Martins. 2011. Rendimiento industrial de soja en la provincia de Santa Fe, Argentina. En: http://www.acsoja.org.ar/images/cms/contenidos/322_b.pdf (revisado julio 2015)
- Cuniberti M. y R. Herrero. 2006. Factores que influyen en el contenido de proteína y aceite en la soja argentina. Inf. de Actualización Técnica N° 7, pp. 67-70. En: <http://inta.gov.ar/documentos/caida-en-la-proteina-de-la-soja-en-la-argentina/>
- Cuniberti M., R. Herrero, L. Mir, O. Berra, O y S. Macagno. 2011. Rendimiento y calidad comercial e industrial de la soja en la región núcleo-sojera. Cosecha 2010-11. Informe de Actualización Técnica N° 21. En: http://inta.gov.ar/documentos/evolucion-del-contenido-de-proteina-y-de-aceite-en-la-region-sojera-argentina/at_multi_download/file/evoluci%C3%B3n%20.pdf
- Díaz Zorita M., F. García y R. Melgar. 2002. Fertilización en soja y trigosoja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. Boletín Proyecto Fertilizar. EEA INTA Pergamino. 44 pág.
- Echeverría H, Ferraris G, Gerster G, Gutiérrez Boem F, Salvaggiotti F. 2002. Fertilización de soja y la secuencia trigo-soja en la región pampeana. Campañas 2000/01 y 2001/02. INTA – FERTILIZAR. EEA INTA Pergamino Buenos Aires.
- Fancelli A. 2006. Micronutrientes en la fisiología de los cultivos. En: M Vázquez(ed). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina, pág. 207.
- Ferraris G y Gutierrez Boem F. 2001. Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja de primera. Proyecto fertilizar- INTA. Revisado el 19 de abril de 2015 en <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210906.pdf>.
- Fontanetto H, O. Keller y J. Albrecht. 2009. Efecto de la fertilización con boro y nitrógeno sobre el cultivo de soja. Publicación Miscelánea N° 115. En: http://rafaela.inta.gov.ar/info/documentos/miscelaneas/115/misc115_115.pdf
- Galarza C. 2001. Fertilización del Cultivo de Soja. Resultados de Ensayos de la Campaña 2000/2002 (Tomo 2). Información para Extensión n°69. INTA Marcos Juárez. En: <http://www.profertilnutrientes.com.ar/images/archivos/607.pdf>
- García F. 2000. Soja: Nutrición del Cultivo y Fertilización en la Región Pampeana Argentina. INPOFOS/PPI/PPIC.
- Gargicevich A, E. Leguizamón. 2006. Soja, naturaleza y sociedad. En: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/20/11AM20.htm> (revisado julio 2015)

- Martínez F. y G. Cordone. 1998. Fertilización azufrada en soja. Jornadas de Azufre. UEEA INTA Casilda, Septiembre 1998. Casilda, Santa Fe, Argentina. En: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/CF7BA54CC83C7980852579950075F444/\\$FILE/16.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/CF7BA54CC83C7980852579950075F444/$FILE/16.pdf)
- Martínez F., G. Cordone. 2015. Impacto de la fertilización en soja sobre la calidad de grano. Campaña Disponible (5/1/2016) en: [www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/09DD01D2BDADA9A503257E5E00008A33/\\$FILE/17.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/09DD01D2BDADA9A503257E5E00008A33/$FILE/17.pdf)
- Matteo F. 2014. Cosecha récord de la soja, pero ¿Qué sucede con la calidad?. Informativo Semanal BCR.
- Muñoz R. 2012. Economía y mercado de la soja. En: Baigorri, E.J, El cultivo de soja en Argentina. Vicente López, Agroeditorial, pág 51-72.
- Pussetto P. 2012. Se pierden rendimientos por no fertilizar la soja correctamente. Revista Fertilizar N°24, pág. 22 a 24.
- Rossi, R. 2013. La soja busca más calidad. Artículo diario suplemento Clarín Rural, 28 de agosto. Disponible en: http://www.clarin.com/rural/soja-busca-calidad_0_980302483.html
- Sainz Rozas H. 2012. Micronutrientes en la región pampeana. Revista Fertilizar N°24, pág. 28 a 31.
- Salvagiotti F., J.E. Specht, G. Kenneth. y otros. 2009. Growth and Nitrogen Fixation in High-Yielding Soybean: Impact of Nitrogen Fertilization. Agronomy Journal Volume 101, Issue 4.
- Salvagiotti F. 2013. Cómo podemos aumentar los rendimientos de soja?. La visión desde la nutrición. Simposio de Fertilidad 2013. Rosario, pág. 45-50.

Anexos

Análisis de la varianza y contrastes

Rendimiento

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-------------|----|----------------|-------------------|-------|
| Rendimiento | 27 | 0,66 | 0,45 | 11,65 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|-------------|----|------------|------|---------|
| Modelo. | 12366044,68 | 10 | 1236604,47 | 3,14 | 0,0204 |
| Bloque | 3092514,41 | 3 | 1030838,14 | 2,62 | 0,0868 |
| Tratamiento | 9273530,28 | 7 | 1324790,04 | 3,36 | 0,0211 |
| Error | 6304258,78 | 16 | 394016,17 | | |
| Total | 18670303,46 | 26 | | | |

Contrastes

| Tratamiento | Contraste | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|-----------|------------|----|------------|-------|---------|
| Contraste1 | -93,39 | 13083,47 | 1 | 13083,47 | 0,03 | 0,8577 |
| Contraste2 | 406,08 | 197884,41 | 1 | 197884,41 | 0,50 | 0,4887 |
| Contraste3 | 312,69 | 117330,04 | 1 | 117330,04 | 0,30 | 0,5928 |
| Contraste4 | -292,70 | 114231,05 | 1 | 114231,05 | 0,29 | 0,5977 |
| Contraste5 | -1566,38 | 4907092,61 | 1 | 4907092,61 | 12,45 | 0,0028 |
| Contraste6 | 1300,37 | 2898807,10 | 1 | 2898807,10 | 7,36 | 0,0154 |
| Contraste7 | -560,17 | 627586,46 | 1 | 627586,46 | 1,59 | 0,2250 |
| Contraste8 | -572,74 | 437378,63 | 1 | 437378,63 | 1,11 | 0,3077 |
| Total | | 7923497,36 | 7 | 1131928,19 | 2,87 | 0,0381 |

Aceite

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------|----|----------------|-------------------|------|
| Mat. Grasa | 24 | 0,27 | 0,00 | 1,20 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo. | 0,42 | 9 | 0,05 | 0,57 | 0,8021 |
| Bloque | 0,02 | 2 | 0,01 | 0,14 | 0,8688 |
| Tratamiento | 0,40 | 7 | 0,06 | 0,69 | 0,6803 |
| Error | 1,15 | 14 | 0,08 | | |
| Total | 1,57 | 23 | | | |

Contrastes

| Tratamiento | Contraste | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|-----------|---------|----|---------|------|---------|
| Contraste1 | -0,10 | 0,01 | 1 | 0,01 | 0,18 | 0,6756 |
| Contraste2 | 0,20 | 0,06 | 1 | 0,06 | 0,73 | 0,4071 |
| Contraste3 | 0,10 | 0,02 | 1 | 0,02 | 0,18 | 0,6756 |
| Contraste4 | -0,23 | 0,08 | 1 | 0,08 | 0,99 | 0,3356 |
| Contraste5 | -0,10 | 0,01 | 1 | 0,01 | 0,18 | 0,6756 |
| Contraste6 | 0,20 | 0,06 | 1 | 0,06 | 0,73 | 0,4071 |
| Contraste7 | 0,03 | 1,7E-03 | 1 | 1,7E-03 | 0,02 | 0,8888 |
| Contraste8 | 0,10 | 0,02 | 1 | 0,02 | 0,18 | 0,6756 |
| Total | | 0,40 | 7 | 0,06 | 0,69 | 0,6803 |

Proteína

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| Proteina | 24 | 0,26 | 0,00 | 1,82 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo. | 2,16 | 9 | 0,24 | 0,55 | 0,8175 |
| Bloque | 0,35 | 2 | 0,18 | 0,40 | 0,6784 |
| Tratamiento | 1,81 | 7 | 0,26 | 0,59 | 0,7546 |
| Error | 6,16 | 14 | 0,44 | | |
| Total | 8,32 | 23 | | | |

Contrastes

| Tratamiento | Contraste | SC | gl | CM | F | p-valor | |
|-------------|------------|-------|------|------|------|---------|--------|
| | Contraste1 | 0,30 | 0,13 | 1 | 0,13 | 0,31 | 0,5883 |
| | Contraste2 | -0,20 | 0,06 | 1 | 0,06 | 0,14 | 0,7174 |
| | Contraste3 | 0,10 | 0,01 | 1 | 0,01 | 0,03 | 0,8561 |
| | Contraste4 | 0,50 | 0,38 | 1 | 0,38 | 0,85 | 0,3714 |
| | Contraste5 | 0,13 | 0,03 | 1 | 0,03 | 0,06 | 0,8091 |
| | Contraste6 | -0,43 | 0,28 | 1 | 0,28 | 0,64 | 0,4369 |
| | Contraste7 | -0,20 | 0,06 | 1 | 0,06 | 0,14 | 0,7174 |
| | Contraste8 | -0,23 | 0,08 | 1 | 0,08 | 0,19 | 0,6731 |
| | Total | 1,81 | 7 | 0,26 | 0,59 | 0,7546 | |

Medidas de resumen

Rendimiento

| Tratamiento | Variable | n | Media | D.E. | CV | Mín | Máx |
|-------------|-------------|---|---------|---------|-------|---------|---------|
| 1 | Rendimiento | 3 | 5746,36 | 1519,15 | 26,44 | 3996,32 | 6725,52 |
| 2 | Rendimiento | 3 | 5652,97 | 189,83 | 3,36 | 5471,26 | 5850,00 |
| 3 | Rendimiento | 2 | 6059,05 | 981,53 | 16,20 | 5365,00 | 6753,10 |
| 4 | Rendimiento | 4 | 5766,35 | 1083,80 | 18,80 | 4489,66 | 6879,31 |
| 5 | Rendimiento | 4 | 4199,97 | 350,46 | 8,34 | 3674,48 | 4387,87 |
| 6 | Rendimiento | 3 | 5500,34 | 423,86 | 7,71 | 5020,69 | 5824,48 |
| 7 | Rendimiento | 4 | 5206,18 | 431,90 | 8,30 | 4678,39 | 5628,10 |
| 8 | Rendimiento | 4 | 5486,31 | 307,90 | 5,61 | 5159,48 | 5893,22 |

Aceite

| Tratamiento | Variable | n | Media | D.E. | CV | Mín | Máx |
|-------------|------------|---|-------|------|------|-------|-------|
| 1 | Mat. Grasa | 3 | 23,83 | 0,40 | 1,70 | 23,40 | 24,20 |
| 2 | Mat. Grasa | 3 | 23,73 | 0,06 | 0,24 | 23,70 | 23,80 |
| 3 | Mat. Grasa | 3 | 23,93 | 0,21 | 0,87 | 23,70 | 24,10 |
| 4 | Mat. Grasa | 3 | 23,70 | 0,10 | 0,42 | 23,60 | 23,80 |
| 5 | Mat. Grasa | 3 | 23,60 | 0,26 | 1,12 | 23,30 | 23,80 |
| 6 | Mat. Grasa | 3 | 23,80 | 0,36 | 1,51 | 23,50 | 24,20 |
| 7 | Mat. Grasa | 3 | 23,73 | 0,40 | 1,70 | 23,30 | 24,10 |
| 8 | Mat. Grasa | 3 | 24,03 | 0,06 | 0,24 | 24,00 | 24,10 |

Proteína

| Tratamiento | Variable | n | Media | D.E. | CV | Mín | Máx |
|-------------|----------|---|-------|------|------|-------|-------|
| 1 | Proteína | 3 | 36,07 | 0,23 | 0,64 | 35,80 | 36,20 |
| 2 | Proteína | 3 | 36,37 | 0,55 | 1,51 | 35,80 | 36,90 |
| 3 | Proteína | 3 | 36,17 | 0,15 | 0,42 | 36,00 | 36,30 |
| 4 | Proteína | 3 | 36,67 | 0,55 | 1,50 | 36,10 | 37,20 |
| 5 | Proteína | 3 | 36,80 | 0,66 | 1,78 | 36,10 | 37,40 |
| 6 | Proteína | 3 | 36,37 | 0,95 | 2,60 | 35,30 | 37,10 |
| 7 | Proteína | 3 | 36,47 | 1,05 | 2,88 | 35,40 | 37,50 |
| 8 | Proteína | 3 | 35,93 | 0,38 | 1,05 | 35,50 | 36,20 |