

Garrahan, Luis Tomás Ángel

Fertilización en soja: respuesta en rendimiento y calidad en Chacabuco, 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:

Garrahan, L. T. A. 2016. Fertilización en soja : respuesta en rendimiento y calidad en Chacabuco, 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/fertilizacion-soja-chacabuco-buenos-aires.pdf> [Fecha de consulta:....]



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA
ARGENTINA**

Facultad de Ciencias Agrarias

Ingeniería en Producción Agropecuaria

**Fertilización en soja: Respuesta en rendimiento y
calidad en Chacabuco, Provincia de Buenos Aires**

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

Autor: Luis Tomás Ángel Garrahan

Profesor Tutor: Ing. Agr. Inés Davèrède, PhD

Fecha: 31/10/2016

Resumen

La imperante necesidad de buscar formas para mejorar tanto la producción como la calidad composicional en el grano de soja, en conjunto con el alarmante y progresivo deterioro de los suelos, movilizan a buscar alternativas en la fertilización para lograr estas metas. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de distintos nutrientes sobre rendimiento, porcentaje de proteína y porcentaje de aceite en el grano de soja. Se llevó a cabo un diseño experimental en bloques completos aleatorizados con 8 tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron los siguientes: 1) Testigo; 2) 22 kg P ha⁻¹; 3) 22 kg P ha⁻¹ + 13,2 kg S ha⁻¹; 4) 22 kg P ha⁻¹ + 13,2 kg S ha⁻¹ + 80 g B ha⁻¹; 5) 22 kg P ha⁻¹ + 13,2 kg S ha⁻¹ + 80 g B ha⁻¹ + 10 kg N ha⁻¹; 6) 22 kg P ha⁻¹ + 13,2 kg S ha⁻¹ + 80 g B ha⁻¹ + 20 kg N ha⁻¹; 7) 22 kg P ha⁻¹ + 13,2 kg S ha⁻¹ + 80 g B ha⁻¹ + 1,3 kg Zn ha⁻¹; 8) 44 kg P ha⁻¹ + 26,4 kg S ha⁻¹. Las variables promediaron 6986 kg ha⁻¹ de rendimiento, 34,7 % de proteína y 25,0 % de aceite. La aplicación de S aumentó el rendimiento en forma significativa en 1204 kg ha⁻¹, mientras que la aplicación de una doble dosis de P y S aumentó el porcentaje de aceite en 0,3 puntos porcentuales con respecto a la aplicación de una simple dosis de P y S. Por último, no se observaron diferencias significativas en el porcentaje de proteína del grano entre los tratamientos.

Agradecimientos

A la Ing. Agr. Inés Davèrède PhD, tutora de la tesis, por su ayuda y seguimiento en todo momento, su excelente predisposición y su agilidad de respuesta ante cada una de las consultas.

A mi familia, por generar soluciones ante distintos imprevistos que fueron surgiendo en la actividad.

A Efagro S.A., por brindar las instalaciones y herramientas para poder llevar a cabo los ensayos.

A Bunge Argentina S.A. por costear los fertilizantes utilizados en los distintos tratamientos y los análisis de suelos.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Católica Argentina, por haber moldeado el trayecto académico que desembocó en este trabajo.

Introducción	5
Hipótesis	11
Objetivos	11
Materiales y métodos	12
- Métodos y procedimientos	12
- Análisis estadístico	13
Resultados	13
Discusión	15
Conclusiones	17
Bibliografía	19
Anexos	23
-Registro precipitaciones año 2005-2015	23
- Rendimiento: Análisis de varianza y contrastes	24
- Proteína: Análisis de varianza y contrastes	24
- Aceite: Análisis de varianza y contrastes	25
- Rendimiento: Medidas de resumen	25
- Proteína: Medidas de resumen	26
- Aceite: Medidas de resumen	26

Introducción

Hace más de un siglo que en nuestro país se desarrolla la agricultura para la producción de granos como materia prima de uso directo o indirecto a través de sus derivados industriales (Soldini et al., 2008). Durante el siglo XX, las prácticas tradicionales comprendieron la rotación de cultivos anuales de cosecha con pasturas perennes en partes equivalentes (Álvarez y Barraco, 2005). Sin embargo, en los últimos 15 años, la superficie bajo producción de soja, trigo, maíz y girasol en Argentina creció de 15 millones (promedio trienio 1991/93), a más de 25 millones de ha (promedio 2003/05) (García, 2007), y actualmente ronda los 32,6 millones de ha (SIIA, 2016). La evolución tecnológica relacionada con semillas, maquinarias y manejo del cultivo, sumada a la calidad de los suelos y al clima favorable, ha promovido la intensificación y expansión de esta actividad (Soldini et al., 2008). Según García (2007), la adopción de variedades de soja resistentes a glifosato a partir de 1996 y los buenos precios de este grano, sumado a la siembra directa como también aclara Bianchini et al. (2007), fueron los principales determinantes de la expansión del cultivo. Sin embargo, estos cambios lamentablemente no confieren al sistema el carácter de sustentable, teniendo en cuenta por ejemplo que alrededor del 50% del área total bajo agricultura en el país se realiza bajo sistemas de alquiler anual de tierras, por lo que los agricultores siembran el cultivo que les otorga un mayor beneficio, generalmente la soja, sin establecer rotaciones a mediano o largo plazo (García, 2007). Además de los problemas de conservación del suelo, otro problema del cultivo de soja es que el significativo progreso del potencial de rendimiento no fue acompañado por el incremento del contenido de proteína (Soldini et al., 2008). Este fenómeno de bajo contenido de proteína de la soja argentina es un tema de preocupación para la cadena, ya que el país viene soportando importantes pérdidas en la exportación de harina proteica y de grano/poroto debido a esta causa en las últimas campañas (Murgio et al., 2014). La inevitable disminución en este parámetro de calidad genera desventajas competitivas respecto de la producción que proviene de los demás competidores del mercado internacional, ya que los compradores priorizan a otros exportadores que logran harinas de soja con 1 a 1,5 % más de proteína, pagando entre 10 y 20 dólares más la tonelada (Cuniberti et al., 2014). Estos autores agregan que incluso este fenómeno es capaz de causar el rechazo de los embarques por no cumplir con los valores de tolerancia. El mayor problema quizás es que, claramente, los programas de mejoramiento nacionales no consideran al contenido de proteína como un criterio más de selección (Soldini et al., 2008).

Durante los últimos 20 años, el consumo de fertilizantes en la Argentina se incrementó más de 10 veces, de 300 mil toneladas en 1990 hasta 3.7 millones en el año 2011 (González Sanjuán et al., 2013). En esta etapa, se ha visto una importante oferta de productos de aplicación foliar que contienen diversos micronutrientes y formas más fácilmente asimilables de macronutrientes, para ser usados como complemento de la fertilización de base, presentando la ventaja de poder aplicar los nutrientes en los momentos de mayor demanda del cultivo gracias a su rápida absorción (Arias et al., 2012). Según García (2007), el notable

aumento en el consumo de fertilizantes no ha permitido mejorar los balances de nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S). La aparición de nuevas fuentes de nutrientes genera en muchos casos cierta confusión sobre su aptitud agronómica, ya que no siempre los organismos oficiales llegan a evaluarlos agronómicamente debido a la velocidad con la que se lanzan nuevos productos al mercado (Torres Duggan, 2007).

El objetivo fundamental de la práctica de fertilización es satisfacer los requerimientos de nutrientes del cultivo cuando el suelo no puede proveerlos y así aumentar los rendimientos (De Battista y Arias, 2011), y en muchos casos el efecto de la nutrición de las plantas permite compensar el efecto negativo de plagas y enfermedades (Arias et al., 2011). Petri y Toribio (2009) además agregan que la fertilización debe ser balanceada, lo cual comprende los conceptos de desarrollo de la mejor práctica agronómica para la producción de cultivos económicamente rentables y de forma sustentable para el sistema en el tiempo. Según González Sanjuán et al. (2013), proyectando una situación de buenas prácticas agronómicas en Argentina, para el caso del N y el S deberíamos elevar la actual reposición de 40% a un 80%, mientras que para el caso del P, deberíamos pasar de un 50% de reposición actual a un 90% de reposición. Históricamente, la fertilización ha sido una variable relegada dentro del manejo del cultivo de soja, dado que por mucho tiempo se consideró a la soja con escasa o nula capacidad de respuesta (Ferraris y Toribio, 2014), lo cual ha cambiado a partir de la degradación química de los suelos (Salvagiotti, 2013). A medida que la agricultura se va intensificando y la adición de nutrientes se restringe a 2 o 3 nutrientes, las posibilidades de obtener respuestas a otros nutrientes, ya sean estos meso como micronutrientes, se va haciendo más frecuente (Ventimiglia y Torrens Baudrix, 2014). Bianchini et al. (2007) comparte que en un sistema con altos rendimientos, los requerimientos nutricionales de los cultivos son mayores, y otros nutrientes no considerados anteriormente pueden aparecer como limitantes al rendimiento.

En cuanto a la nutrición mineral, la soja es el cultivo de más altas exigencias y el de mayor índice de cosecha de nutrientes (Fontanetto et al., 2011), por ejemplo de N. Por suerte, la provisión de este nutriente en el cultivo de soja puede ser cubierta parcialmente mediante la fijación biológica de N (Ventimiglia y Torrens Baudrix, 2014). Por su parte, el P y el S son agregados al suelo en el momento de la siembra (Arias et al., 2012). Los elementos que más limitan la producción de la soja en la zona pampeana de Argentina son el N, P, S y Ca, y en menor medida, el molibdeno (Mo), y el boro (B) (Fontanetto et al., 2011). Para producir una tonelada de grano, el cultivo de soja requiere unos 80 kilos de N, 8 kg de P y 7 kg de S (Gutiérrez Boem, 2008), mientras que con el grano se exportan 60 kg de N, 5,5 kg de P y 3,2 kg de S por tn. Si bien los principales nutrientes deficientes en zonas sojeras son N, P y S, según García (2005), en los últimos años se han observado deficiencias de algunos nutrientes secundarios y micronutrientes en algunas zonas, fundamentalmente a partir de la intensificación de la agricultura.

El N, como ya se dijo anteriormente, es el elemento que en mayor medida limita el logro de cultivos de soja de alta producción en virtud de su alta demanda (80 kg tn⁻¹ de grano). Sin embargo, esto no resulta suficiente, ya que en la región

pampeana, el porcentaje del total del N asimilado por el cultivo que proviene de la fijación suele ser menor que el índice de cosecha de N de cualquier cultivo (aproximadamente un 75%), y por lo tanto, la cantidad que se exporta con el grano resulta mayor que la fijada (Gutiérrez Boem, 2008). Según Díaz Zorita (2004), la FBN cubre entre el 25 y el 75 % de las necesidades de N, y se trata de un proceso que es energéticamente costoso para la planta, requiriendo entre 6 y 12 g de carbohidratos por g de N fijado, que evidencia las estrechas relaciones observadas entre crecimiento del cultivo y FBN, por lo cual factores que restrinjan el crecimiento limitarán la FBN y reducirán su eficiencia. Para aprovechar al máximo la FBN, se lleva a cabo la técnica de inoculación, que es el proceso de incorporación de bacterias seleccionadas por su eficiencia de fijación de N en el sistema suelo-cultivo (Díaz Zorita, 2004). En estudios realizados en la región pampeana, solo se encontraron aumentos en rendimientos por fertilización nitrogenada en lotes sin antecedentes de soja y cultivos sin inoculación (Díaz Zorita, 2004). También coincide Gutiérrez Boem (2008), que muestra que los ensayos de fertilización nitrogenada revelan una sustitución del N fijado por el aportado por el fertilizante, sin que se produzca un aumento neto en la asimilación, por lo cual no recomienda fertilizar con N el cultivo de soja en la región pampeana, excepto en situaciones en que, por fallas en la nodulación, sea posible esperar una respuesta ante su aplicación.

Otra alternativa de fertilización nitrogenada del cultivo consiste en la aplicación del N en etapas avanzadas del desarrollo para satisfacer la demanda de N de los granos con recursos externos (Díaz Zorita, 2004), en un período del cultivo en que la fijación simbiótica disminuye (Gutiérrez Boem, 2008), lo cual se ha probado para intentar elevar el porcentaje de proteína del grano. Algunos autores como Ferraris y Toribio (2014) no observaron diferencias significativas en el porcentaje de proteína en grano con la aplicación tanto de urea al voleo en R1 como de N foliar en R1 juntos y también por separado, ni tampoco influyó en el rendimiento.

Por detrás del N, aparece el P como el segundo nutriente en orden de importancia para el cultivo de soja. La adecuada disponibilidad de P es crítica para el logro de un crecimiento rápido y el desarrollo adecuado del cultivo tanto de su parte aérea como de las raíces, de su nodulación y de la eficiencia de FBN (Díaz Zorita, 2004), además se ha comprobado que el P tiene una interacción positiva con N y S (Petri y Toribio, 2009). Más allá de que los requerimientos de P son máximos luego de 30 días de la emergencia de las plántulas, su escasa movilidad en el suelo junto con el proceso de captación (difusión) requieren que el diagnóstico y las correcciones de potenciales deficiencias se realicen en el momento de la siembra o con anterioridad (Díaz Zorita, 2004). Teniendo en cuenta esto, para lograr llevar a cabo un eficiente manejo de la nutrición fosfatada del cultivo, es conveniente estimar la capacidad del suelo para proveer este elemento, recomendándose en gran parte de las áreas agrícolas de Argentina, la determinación de P extractable de los suelos (método de BrayKurtz 1) en la capa de 0 a 20 cm de profundidad (Díaz Zorita, 2004), siendo 15 mg kg^{-1} de P (0-20 cm), el umbral de respuesta de este nutriente (Vivas et al., 2010). De este modo, por lo general, si la disponibilidad se encuentra dentro de un rango medio, la dosis recomendada es de mantenimiento, reponiendo así el P que se estima va a exportar el cultivo, mientras que si el porcentaje de P es bajo, la dosis recomendada debe superar la

reposición de forma tal de elevar, con los años, el porcentaje de disponibilidad (Gutiérrez Boem, 2008). Según Ferraris et al. (2012), el P es el nutriente al que se han observado respuestas de mayor magnitud en este cultivo, aunque también hay que considerar el modo de aplicación, ya que si bien la aplicación en la banda de siembra de dosis de P mayores a las frecuentemente utilizadas, resultarían en un aumento en la respuesta en producción de soja, este aumento de dosis podría reducir la implantación de los cultivos por riesgo de fitotoxicidad y limitar la respuesta en producción (Bermúdez et al., 2014). Fontanetto et al. (2011) realizaron estudios en Argentina para relacionar los porcentajes de P extractable de los suelos con la respuesta de soja a la fertilización fosfatada, y concluyeron que los rendimientos en los tratamientos testigo (sin fertilización con P) eran cada vez más bajos en la medida que el P del suelo disminuía. Asimismo, aseguran que es posible obtener respuestas que varían entre 175 y 690 kg ha⁻¹ con el agregado de 30 kg ha⁻¹ de P (equivalente a 150 kg ha⁻¹ de superfosfato triple) en suelos con contenidos de P extractable inferiores a las 17 mg kg⁻¹ (Fontanetto et al., 2011). Según Gutiérrez Boem (2008), luego de una serie de ensayos realizados en la región pampeana, con disponibilidad de 3-4 ppm de P, las mermas en el rinde llegaron a ser un poco más del 20%, mientras que con porcentajes de P del suelo de 8-12 mg kg⁻¹, se logra un rendimiento relativo de 90-95%. Hay que tener en cuenta que la respuesta a la fertilización fosfatada no solo depende del porcentaje de P disponible en el suelo, sino también es afectada por factores del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante (García, 2005). Bermúdez et al. (2014), al llevar a cabo ensayos en distintas localidades de la provincia de Buenos Aires, concluyeron que la fertilización con P con dosis mayores a 8 o 15 kg ha⁻¹ de P permitió mejorar los rendimientos y además se observó que los aumentos en los rendimientos fueron independientes de la campaña considerada. Por su parte, Belloso (2004) afirma que en lotes de soja de primera que no han tenido fertilización en los cultivos previos de la rotación, con aplicaciones de P a razón de 50 kg ha⁻¹ y de S (10 kg ha⁻¹) se han obtenido aumentos de rendimiento entre 300 y 800 kg ha⁻¹. Soldini et al. (2008) analizaron cómo respondía el porcentaje de proteína ante una aplicación de P y S y encontraron un incremento significativo del 1,2% al aplicar 80 kg de superfosfato simple respecto del testigo.

El S es un elemento esencial para la síntesis de aminoácidos y es requerido a razón de unos 7 kg tn⁻¹ de granos producidos (Díaz Zorita, 2004). Desde el punto de vista productivo, las deficiencias de S en agro-ecosistemas impactan a partir de una disminución en el rendimiento, menor calidad de productos cosechados, mayor susceptibilidad a enfermedades y reducción en la eficiencia de uso de otros nutrientes como N, P y algunos nutrientes como Zn, Fe, Cu, Mn y B, entre otros (Torres Duggan y Rodríguez, 2009). A diferencia del P, donde generalmente se ve afectado el número de granos, una disminución del rendimiento producto de una deficiencia de S puede ocurrir debido a una reducción del número de granos como también, de su tamaño (Gutiérrez Boem, 2008), por lo cual no solo afectaría la etapa donde se determina el número de granos sino también durante su llenado. La principal limitante para un uso racional de la fertilización azufrada en soja y en otros cultivos es la falta de un método de diagnóstico en el cual basar una recomendación de fertilización (Bianchini et al., 2007). Díaz Zorita (2004) comentó que son varias las alternativas para el diagnóstico e identificación de

suelos con potencial respuesta al agregado de S, entre las cuales se encuentran las relaciones entre rendimientos y respuestas de los cultivos con los contenidos extractables de S del suelo con diferentes metodologías de extracción. Es importante tener en cuenta que, a diferencia del P, el S tiene mayor movilidad en el suelo y puede ser absorbido por flujo de masa y difusión, siendo esta característica fundamental para interpretar la respuesta de los cultivos a la fertilización con P y S en relación a las condiciones ambientales como la disponibilidad hídrica (Vivas et al., 2010). Las deficiencias de S en los suelos son cada vez más generalizadas y reiteradas en suelos con tenores de materia orgánica inferiores al 2%, en los de texturas arenosas o francas, con elevada historia agrícola sin el agregado de este elemento y donde se logró optimizar el agregado de N y de P (Fontanetto et al., 2011), siendo bastante más recientes que las de P (Vivas et al., 2010). Según Díaz Zorita (2004), con poca frecuencia se han presentado respuestas al agregado de S en el centro-norte de Buenos Aires, aunque otros autores como García (2005), dicen que en los últimos años se han observado respuestas a la fertilización azufrada en soja y en otros cultivos (maíz, trigo, canola, alfalfa, pasturas) en la región pampeana. Fontanetto et al. (2011) desarrollaron una serie de ensayos en la zona central de Santa Fe, en la cual evaluaron dosis de S en suelos sin limitantes de P ($> 25 \text{ mg kg}^{-1}$, Bray 1), y verificaron una alta respuesta de la soja hasta dosis de 12 kg ha^{-1} , donde se alcanzaron las mayores producciones, y además, detectaron que la respuesta fue distinta de acuerdo a los grupos de maduración ensayados, obteniendo los mayores incrementos con los materiales más precoces, sobre todo los del Grupo IV.

Un tema no menor y actual son los micronutrientes, los cuales empiezan a tomar un rol más importante a partir de la intensificación de la agricultura y la consecuente disminución de los porcentajes de materia orgánica, de los cuales De Battista y Arias (2011) comentaron que en general se encuentran en cantidades adecuadas, excepto el Zn y el B cuyos contenidos, en algunos casos, son bajos. El cultivo de soja tiene una alta demanda de micronutrientes por unidad de rendimiento en comparación con otros cultivos (Salvagiotti, 2013). El B y el Zn se destacan entre los micronutrientes debido a que se mencionan entre los más a menudo citados como factibles de producir disminuciones de rendimientos en situaciones de deficiencias y, a su vez, relativamente fáciles de corregir por medio de fertilizaciones, logrando aumentos económicos de rendimientos (Melgar et al., 2001). Más allá de esto, según Gutiérrez Boem (2008), todavía no se dispone de mucha información local acerca de la respuesta del cultivo de soja al agregado de micronutrientes, y resta identificar a que nutriente responde el cultivo, ya que en muchos casos se utilizan mezclas, y en que ambientes es más probable que se produzca una deficiencia. Melgar et al. (2001) afirma que la fertilización con micronutrientes no es una práctica muy difundida en la Argentina a diferencia de otros países de alta producción agrícola unitaria. Lamentablemente, no se cuenta con un “patrón nutricional” de soja para las regiones de cultivo en nuestro país, de manera que la búsqueda de deficiencias debe asociarse a los ensayos de respuesta al agregado de macro y micronutrientes (Martínez y Cordone, 2005).

Dentro de los micronutrientes necesarios para el crecimiento del cultivo de soja se encuentra el B, cuyo requerimiento es de 25 g tn^{-1} de grano producido, estando

fuertemente asociado a la materia orgánica de los suelos (Fontanetto et al., 2009). Ha sido indicado como uno de los que mayores probabilidades de respuesta pueden tener en los sistemas agrícolas de región pampeana, ya que, al igual que el N y el S, provienen de la materia orgánica (Salvagiotti, 2013). Según Martínez y Cordone (2005), la soja es una planta poco exigente en B, sin embargo la falta de este nutriente en floración puede tener efectos marcadamente negativos, presentando muerte de brotes, inhibición de la floración y aborto de flores. Salvagiotti (2013) afirma que el B actúa sobre el porcentaje de cuaje de los frutos y la corrección de sus deficiencias traería beneficios en el número de granos cosechados. Por otra parte, respecto de su aplicación, los fertilizantes que incluyen B en su fórmula pueden ser aplicados al suelo o con aplicaciones al follaje, sugiriéndose en este último caso el momento de floración como el óptimo, aunque sus efectos a campo deben ser corroborados (Salvagiotti, 2013). Fontanetto et al. (2009) observaron que los resultados de la red Fertilizar no mostraron respuestas al agregado de B en el rendimiento de soja cuando este nutriente fue aplicado al suelo, mientras que hubo respuestas en rendimiento a través de un aumento de vainas con aplicaciones foliares de B solo o combinado con N.

Por otra lado, otro micronutriente esencial de importancia es el Zn, cuya deficiencia en soja produce internodios cortos y tallos rígidos y rectos, afectando el desarrollo de la planta (Martínez y Cordone, 2005). Boga y Ramírez (2014), luego de ensayos realizados en la región centro-norte pampeana argentina, en suelos con porcentajes de Zn menores a $0,9 \text{ mg kg}^{-1}$ observaron respuestas positivas a la aplicación de Zn en el suelo antes de la siembra en el 58% de las localidades evaluadas.

Analizando trabajos que evalúan el impacto de la nutrición en la calidad del grano, autores como Cuniberti et al. (2013) desarrollaron una serie de ensayos a lo largo de varias campañas en los cuales presentan la relación inversa que existe entre rendimiento/proteína y entre proteína/aceite, y por lo tanto la relación positiva entre aceite y rendimiento. Estos autores destacan la disminución del nivel de proteína del grano en años de buenas condiciones climáticas en los cuales se logran los mejores rindes, mientras que por otro lado resaltan el aumento en el porcentaje de proteína en siembras tardías como consecuencia de rendimientos más bajos. Soldini et al. (2008) también exponen la presencia de una marcada relación inversa entre rendimiento y proteína en el grano, y sostienen al igual que Cuniberti et al. (2013) que la inexistencia del nivel de proteína como criterio de selección y la reducción de la fertilización fosforada han sido claves en la última década para sostener la constante caída en el porcentaje de proteína del grano de soja.

En este trabajo se evaluó la posibilidad de aumentar el porcentaje de proteína en el grano de soja a través de la fertilización con P, S, N, Zn y B. También se evaluó el efecto que tienen estas prácticas sobre el rendimiento y la concentración de aceite.

Hipótesis

1. La fertilización pre siembra con P aumentará el rendimiento y el porcentaje de aceite, y disminuirá el porcentaje de proteína de los granos de soja con respecto al testigo.
2. La fertilización pre siembra con P y S aumentará el rendimiento y el porcentaje de aceite, y disminuirá el porcentaje de proteína de los granos de soja con respecto a la dosis simple de P.
3. La fertilización pre siembra con P y S en doble dosis aumentará el rendimiento y el porcentaje de aceite, y disminuirá el porcentaje de proteína de los granos de soja con respecto a la dosis simple de P y S.
4. La fertilización pre siembra con P y S junto a la fertilización foliar con B en R1-R2 aumentarán el rendimiento y el porcentaje de aceite, y disminuirá el porcentaje de proteína de los granos de soja con respecto a la dosis simple de P y S.
5. La fertilización pre siembra con P y S junto a la fertilización foliar con B en R1-R2 y la fertilización foliar con N en baja dosis en R5 aumentarán el rendimiento y el porcentaje de proteína, y disminuirá el porcentaje de aceite de los granos de soja con respecto a la dosis simple de P, S y B.
6. La fertilización pre siembra con P y S junto a la fertilización foliar con B en R1-R2 y la fertilización foliar con N en alta dosis en R5 aumentarán el rendimiento y el porcentaje de proteína, y disminuirá el porcentaje de aceite de los granos de soja con respecto a la dosis simple de P, S, B y N.
7. La fertilización pre siembra con P, S y Zn junto a la fertilización foliar con B en R1-R2 aumentarán el rendimiento y el porcentaje de aceite, y disminuirá el porcentaje de proteína de los granos de soja con respecto a la dosis simple de P, S y B.

Objetivos

El objetivo principal de este trabajo experimental consiste en evaluar la respuesta del cultivo de soja a la fertilización con diferentes nutrientes y en distintas dosis. Los objetivos específicos son:

- Evaluar el efecto de la fertilización pre siembra con fósforo sobre el rendimiento y porcentaje de proteína y aceite en el grano de soja.
- Evaluar el efecto de la fertilización pre siembra con fósforo y azufre sobre el rendimiento y porcentaje de proteína y aceite en el grano de soja.
- Evaluar el efecto de la fertilización pre siembra con fósforo y azufre en doble dosis sobre el rendimiento y porcentaje de proteína y aceite en el grano de soja.

- Evaluar el efecto de la fertilización pre siembra con fósforo y azufre, sumado a la fertilización foliar con boro en R1-R2 sobre el rendimiento y porcentaje de proteína y aceite en el grano de soja.
- Evaluar el efecto de la fertilización pre siembra con fósforo y azufre, fertilización foliar con boro en R1-R2 y fertilización foliar con nitrógeno en baja dosis en R5 sobre el rendimiento y porcentaje de proteína y aceite en el grano de soja.
- Evaluar el efecto de la fertilización pre siembra con fósforo y azufre, fertilización foliar con boro en R1-R2 y fertilización foliar con nitrógeno en alta dosis en R5 sobre el rendimiento y porcentaje de proteína y aceite en el grano de soja.
- Evaluar el efecto de la fertilización pre siembra con fósforo, azufre y zinc, sumado a la fertilización foliar con boro en R1-R2 sobre el rendimiento y porcentaje de proteína y aceite en el grano de soja.

Materiales y métodos

El ensayo fue realizado en el establecimiento “Las Mazorcas” ubicado sobre ruta 30 en Chacabuco, Provincia de Buenos Aires, Argentina (34° 40' 59,14" S y 60° 21' 34,44" O), durante la campaña 2014/2015.

Se utilizó un lote que presenta actividad agrícola hace más de una década, respetando un correcto sistema de rotaciones y bajo siembra directa, con antecesor soja (se repitió el cultivo de soja en forma sucesiva por primera vez). Además, el ensayo se ubicó estrictamente distanciado de árboles, caminos y cabeceras, para evitar que estos influyan distorsionando los resultados.

El diseño experimental se realizó en bloques completos aleatorizados con 8 tratamientos y 4 repeticiones. Cada parcela presentó 3 m de ancho por 5 m de largo.

Durante el barbecho se pulverizó con Clorimurón + Glifosato (potenciado) + 2,4D. El 20 de septiembre se fertilizó manualmente al voleo con superfosfato triple de calcio (aporte de P), superfosfato simple (aporte de P y S), y con Microessentials® (aporte de P, S y Zn), todos en forma granulada. Las dosis para cada tratamiento se detallan en la tabla 1. Posteriormente, el 20 de octubre se llevó a cabo la siembra, mientras que el 29 de noviembre se tomaron las muestras de suelo en las borduras. El 27 de diciembre se realizó una aplicación con 40 cm³ ha⁻¹ Curyom + 10 cm³ ha⁻¹ Giberelina + 500 cm³ ha⁻¹ Opera.

Al año siguiente, el tres de enero se procedió a aplicar el fertilizante foliar Foliarsol B diluido en agua (1:10) como fuente de B, cuando el cultivo se encontraba en R1-R2, mientras que el 24 de enero, en R5, se aplicó el fertilizante foliar Foliarsol U diluido en agua (1:3) como aporte de N. Por último, se cosechó

el cultivo del día dos al cuatro de abril manualmente, seleccionando 2 m² al azar dentro de cada parcela, con la posterior ayuda de una trilladora mecánica.

La siembra de la variedad DM 4612 se realizó con una sembradora de grano fino, con una distancia entre surcos de 39 cm y una densidad de 365000 pl ha⁻¹.

Para comparar estadísticamente los tratamientos y analizar las variables rendimiento, proteína y aceite se utilizó el programa Infostat, estableciendo como significativas aquellas pruebas con p valor menor a 0,10 (error alfa = 0,1).

Tratamientos:

- 1- Testigo (sin fertilizar).
- 2- Dosis simple de P.
- 3- Dosis simple de P y S.
- 4- Dosis simple de P, S y B.
- 5- Dosis simple de P, S y B, y baja dosis de N.
- 6- Dosis simple de P, S y B, y alta dosis de N.
- 7- Dosis simple de P, S, Zn y B.
- 8- Dosis doble de P y S.

Tabla 1: Dosis de fertilizante en cada tratamiento.

Tratamiento	N kg ha⁻¹ (siembra)	P kg ha⁻¹	S kg ha⁻¹	N kg ha⁻¹ (foliar)	B g ha⁻¹ (foliar)	Zn kg ha⁻¹
1	0	0	0	0	0	0
2	0	22	0	0	0	0
3	0	22	13,2	0	0	0
4	0	22	13,2	0	80	0
5	0	22	13,2	10	80	0
6	0	22	13,2	20	80	0
7	9,1	22	13	0	80	1,3
8	0	44	26,4	0	0	0

Resultados

Las precipitaciones durante el ciclo fueron abundantes, favoreciendo el desarrollo del cultivo durante todo su ciclo (ver tabla A en el anexo). De octubre a diciembre de 2014 se acumularon 380 mm mientras que entre enero y marzo de 2015 llovieron 296 mm, lo cual establece un total de 676 mm durante el ciclo del cultivo. En el anexo se incluyeron las precipitaciones de la última década en el Partido de Chacabuco (INTA Chacabuco). En cuanto a las temperaturas anuales, presentan un promedio anual de 16,1°C, mientras que en enero puntualmente ronda los 24°C promedio con máximas de hasta 35°C. Respecto de las

características edáficas del terreno en el cual se llevó a cabo el ensayo, el análisis realizado determinó que el suelo presentaba textura franca y contaba con 3,81% de materia orgánica, pH 6, CE 0,2dSm⁻¹, CIC 15,6 meq 100 g⁻¹, 81,5 kg ha⁻¹ N-NO₃ de 0-60 cm, 6,5 mg kg⁻¹ P Bray 1 y 2,6 mg kg⁻¹ S-SO₄.

En la tabla 2 se detallan los promedios de rendimiento, proteína y aceite para cada tratamiento.

Tabla 2: Promedios de cada tratamiento para las variables rendimiento (kg ha⁻¹), proteína (%) y aceite (%).

Tratamientos	Rendimiento	Proteína	Aceite
1) Testigo	6499	34,6	24,9
2) P	6194	34,8	25,0
3) P + S	7398	34,9	24,9
4) P + S + B	7542	34,9	24,9
5) P + S + B + N baja dosis	7200	34,7	25,0
6) P + S + B + N alta dosis	7294	34,5	25,0
7) P + S + B + Zn	7110	34,8	25,0
8) P + S (doble dosis)	6654	34,6	25,2
Total Promedio	6986	34,7	25

El rendimiento promedio del ensayo fue 6986 kg ha⁻¹ (Tabla 2). El único tratamiento que aumentó significativamente el rendimiento en 1205 kg ha⁻¹ o 19% fue la aplicación de 12 kg S ha⁻¹ (tratamiento 3 vs. 2; tabla 3; p= 0,06).

Tabla 3: Comparación de la variable rendimiento entre los distintos tratamientos.

	Rendimiento (kg/ha)	valor p
Respuesta al P (T2 vs. T1)	-304,9	0,6211
Respuesta al S (T3 vs. T2)	1204,6	0,0607
Respuesta al P y S (T3 vs. T1)	899,7	0,1536
Respuesta al B (T4 vs. T3)	143,8	0,8153
Respuesta N foliar baja dosis (T5 vs. T4)	-342,0	0,5796
Respuesta N foliar alta dosis (T6 vs. T5)	93,9	0,8787
Respuesta al Zn (T7 vs. T4)	-432,0	0,485
Respuesta P y S doble dosis (T8 vs. T3)	-744,0	0,2345

Respecto de la variable proteína, no se encontraron diferencias significativas entre las comparaciones realizadas entre los distintos tratamientos (tabla 4), siendo el porcentaje de proteína promedio del ensayo 34,7% (Tabla 2).

Tabla 4: Comparación de la variable proteína entre los distintos tratamientos.

	Proteína (%)	valor p
Respuesta al P (T2 vs. T1)	0,17	0,5867
Respuesta al S (T3 vs. T2)	0,10	0,7434
Respuesta al P y S (T3 vs. T1)	0,27	0,3884
Respuesta al B (T4 vs. T3)	0,00	>0,9999
Respuesta N foliar baja dosis (T5 vs. T4)	-0,23	0,449
Respuesta N foliar alta dosis (T6 vs. T5)	-0,17	0,5867
Respuesta al Zn (T7 vs. T4)	-0,10	0,7434
Respuesta P y S doble dosis (T8 vs. T3)	-0,33	0,2845

Por último, al analizar la tabla 5, que muestra los contrastes realizados para observar el comportamiento de la variable aceite, se encontró que hubo diferencias significativas en la aplicación de P y S en doble dosis, incrementándose el % de aceite en 0,3 puntos porcentuales respecto del tratamiento 3 con una dosis simple de P y S. El porcentaje de aceite del ensayo promedió 25% (Tabla 2).

Tabla 5: Comparación de la variable aceite entre los distintos tratamientos.

	Aceite puntos porc.	valor p
Respuesta al P (T2 vs. T1)	0,03	0,7602
Respuesta al S (T3 vs. T2)	-0,07	0,5436
Respuesta al P y S (T3 vs. T1)	-0,03	0,7602
Respuesta al B (T4 vs. T3)	0,03	0,7602
Respuesta N foliar baja dosis (T5 vs. T4)	0,10	0,3662
Respuesta N foliar alta dosis (T6 vs. T5)	0,00	>0,9999
Respuesta al Zn (T7 vs. T4)	0,07	0,5436
Respuesta P y S doble dosis (T8 vs. T3)	0,30	0,0141

Discusión

Analizando los resultados obtenidos en el ensayo para observar si existió respuesta a la aplicación de P (T2 vs. T1), se rechaza esta hipótesis ya que no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento, porcentaje de aceite y porcentaje de proteína respecto al testigo. Resulta clave destacar la falta de respuesta en rendimiento más allá de que el porcentaje de fósforo en el suelo antes de la siembra era de 6,5 mg kg⁻¹ Bray I, teniendo en cuenta que autores como Galarza et al. (2001) sostienen que normalmente se usa el valor de 10 mg kg⁻¹ de fósforo extractable como umbral crítico para decidir la fertilización. Soldini et al. (2008) tampoco encontraron respuesta en rendimiento y aceite luego de realizar

una serie de ensayos con distintas dosis de superfosfato simple de calcio, aunque si en proteína al agregar 80 kg ha^{-1} . Este autor observó que estos resultados indicarían que los porcentajes de P disponibles en el suelo hacen necesaria una reposición del nutriente para abastecer la demanda genética de síntesis de proteína del grano, pero que, por otro lado, también hay que considerar la falta de potencial genético de ciertas líneas para traducir la mayor oferta de nutrientes en incremento de la síntesis y contenido de proteína. Otros dos autores que no observaron diferencias significativas en el rendimiento al agregar P fueron Ferraris et al. (2012), que aplicaron distintas dosis de SFT en un suelo con $13,9 \text{ mg kg}^{-1}$ de P, y De Battista y Arias (2011) que utilizaron dosis de 20 kg ha^{-1} en un suelo con $7,2 \text{ mg kg}^{-1}$ de P. En cambio, un ensayo realizado por Ventimiglia y Torrens Baudrix (2015) en un lote con muy bajo porcentaje de P ($5,1 \text{ mg kg}^{-1}$) mostró un incremento significativo del 22,2% al aplicar P.

Por otro lado, sí se observó en este ensayo diferencias significativas en rendimiento al agregado de S (T3 vs. T2), incrementándose en un 19% respecto del tratamiento 2 que solamente tenía P, aunque este aumento en la producción no influyó en los porcentajes de aceite y proteína. Al igual que el P, la concentración de este nutriente resultó baja al momento de la siembra ($2,6 \text{ mg kg}^{-1} \text{ S-SO}_4$). Nuevamente, como en el caso anterior del P, se encuentran resultados diversos al analizar la respuesta al S. Mientras que Ventimiglia y Torrens Baudrix (2015), citados anteriormente, no observaron diferencias significativas en el rinde al fertilizar con S, teniendo en cuenta que el porcentaje de S en el suelo no era tan bajo como el de P en relación al umbral.

Respecto del contraste entre el T3 con P y S y el T1 (testigo), no se observaron diferencias significativas en rendimiento, proteína y aceite. Murgio et al. (2014) encontraron un incremento significativo en el rendimiento al fertilizar con P y S en tres de las cuatro localidades en las cuales se llevaron a cabo los ensayos, aunque no hubo cambios en el porcentaje de proteína. Al igual que Murgio et al. (2014), los ensayos realizados por Martínez y Cordone (2015) arrojaron un aumento significativo en el rendimiento. La aplicación del fertilizante fosforado, a una profundidad que pueda ser alcanzada por las raíces en un estado temprano del crecimiento de la planta, produce un mayor desarrollo radical, y por lo tanto puede permitir a la soja absorber mayores cantidades de agua y tolerar períodos de sequía de cierta duración (Munévar Martínez, 1988).

Por otra parte, tampoco se encontraron diferencias significativas entre T4 (con B) y T3 (sin B), en ninguna de las tres variables de interés. En coincidencia con este ensayo, Ventimiglia y Torrens Baudrix (2015) y Gambaudo et al. (2011) no encontraron diferencias significativas en el rendimiento. Igualmente, autores como Salvagiotti (2013) sí observaron diferencias significativas; en este caso, del 7% sobre el testigo, y además probó distintas dosis, y observó una respuesta lineal de 128 kg de grano cada 100g de B. También Martínez y Cordone (2005) detectaron incrementos significativos en el rinde, y concluyeron que es probable que la coincidencia entre el máximo requerimiento de B por el cultivo (R1 a R3) y el stress hídrico presentado en ese estadio haya permitido que la aplicación de B previa al stress produjera el cuaje de mayor número de granos, lo cual resultó en un aumento de la producción de granos. Fontanetto et al. (2009) obtuvieron un

incremento del 8% en el rendimiento, y estadísticamente no observaron diferencias en los porcentajes de materia grasa y proteína.

Respecto del contraste realizado para evaluar la respuesta a N foliar en R5 (T5 vs. T4 y T6 vs. T5), no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las tres variables estudiadas para ambas dosis de N. Coincidentemente, en distintos ensayos realizados por diferentes autores como Ventimiglia y Torrens Baudrix (2015) con aplicación foliar en R5, tampoco se encontraron diferencias entre tratamientos. Ferraris y Toribio (2014), habiendo aplicado dos dosis distintas de N foliar en R5 en soja 2°, y Ripa (2015) con dosis de 25 kg ha⁻¹ de N foliar en R5, no detectaron cambios significativos en el rendimiento. Por otro lado, Fontanetto et al. (2009), que además de la variable rendimiento tuvieron en cuenta porcentaje de aceite y proteína, tampoco obtuvieron diferencias significativas en ninguna de las variables con la aplicación de N foliar en R2-R3.

La respuesta al Zn (T7 vs. T4), no fue significativa en rendimiento, porcentaje de aceite y proteína. Por su parte, Martínez y Cordone (2005) tampoco encontraron respuestas en rendimiento cuando aplicaron el Zn en forma foliar en R1-R2 en dos localidades, ni tampoco Gambaudo et al. (2011) con Zn foliar en V3 con una dosis de 400 g ha⁻¹. En cambio, Boga y Ramírez (2014), luego de una serie de ensayos realizados en diferentes localidades de las cuales el 90% presentaban porcentajes de Zn en el suelos menores a 0,9 mg kg⁻¹, encontraron un aumento significativo promedio del rendimiento de 8,3% (355 kg ha⁻¹), donde además observaron que hubo una tendencia a un aumento de respuesta a medida que aumentó el potencial de rendimiento del sitio.

Por último, el contraste realizado entre T8 y T3 para detectar una respuesta a P y S en doble dosis, mostró nula diferencia significativa en rendimiento y proteína, pero un incremento significativo del porcentaje de materia grasa de 0,3 puntos porcentuales.

Conclusiones

- La fertilización pre siembra con P no aumentó el rendimiento y el porcentaje de aceite, ni tampoco disminuyó el porcentaje de proteína de los granos de soja.
- La fertilización pre siembra con P y S aumentó el rendimiento en un 19% (1204 kg ha⁻¹), mientras que no incrementó el porcentaje de aceite, ni disminuyó el porcentaje de proteína de los granos de soja, respecto a la fertilización con P únicamente.
- La fertilización pre siembra con P y S en doble dosis no aumentó el rendimiento ni disminuyó el porcentaje de proteína de los granos de soja, pero elevó significativamente el porcentaje de aceite en 0,3%, respecto a la aplicación de P y S en dosis simple.

- La fertilización pre siembra con P y S junto a la fertilización foliar con B en R1-R2 no aumentó el rendimiento y el porcentaje de aceite, ni disminuyó el porcentaje de proteína de los granos de soja.
- La fertilización pre siembra con P y S junto a la fertilización foliar con B en R1-R2 y la fertilización foliar con N en baja dosis en R5 no aumentó el rendimiento y el porcentaje de proteína, ni disminuyó el porcentaje de aceite de los granos de soja.
- La fertilización pre siembra con P y S junto a la fertilización foliar con B en R1-R2 y la fertilización foliar con N en alta dosis en R5 no aumentó el rendimiento y el porcentaje de proteína, ni disminuyó el porcentaje de aceite de los granos de soja.
- La fertilización pre siembra con P, S y Zn junto a la fertilización foliar con B en R1-R2 no aumentó el rendimiento y el porcentaje de aceite, ni disminuyó el porcentaje de proteína de los granos de soja.

Elaborando una mirada global de este ensayo, se puede observar claramente que la fertilización no logró aumentar la calidad del grano, excepto en el caso de la doble fertilización con P y S, práctica muy poco frecuente en las producciones de nuestro país. Más allá de esto, no deben fijarse los datos obtenidos como definitorios de las prácticas agrícolas a desarrollar, teniendo en cuenta los diversos resultados arrojados en otros estudios citados, y que este ensayo ha sido realizado en condiciones ambientales con un alto porcentaje de materia orgánica, buena disponibilidad hídrica y excelentes condiciones de temperatura y radiación.

Bibliografía

- Álvarez, C.; Barraco, M. (2005), Indicadores de calidad física de suelos. Boletín técnico n° 4°, EEA General Villegas, INTA, 5-18. En: http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/36-indicadores_calidad_suelos.pdf#page=5
- Arias, N.; De Battista J. J.; Arévalo, E. (2011), Estrategias de fertilización foliar y control de enfermedades en soja, Cultivo de soja en el centro este de E. R., EEA Concepción de Uruguay, INTA, 1-6. En: <http://inta.gob.ar/documentos/estrategias-de-fertilizacion-foliar-y-control-de-enfermedades-en-soja>
- Arias, N.; Herrera, C. A.; Aguaya, J. (2012), Fertilización complementaria en soja, EEA Concepción del Uruguay, INTA. En: <http://inta.gob.ar/documentos/fertilizacion-complementaria-en-soja/>
- Belloso, C. Modelo de producción de soja en la región norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe. En: Díaz Zorita, M. y Duarte, G. A. (eds.), Manual práctico para la producción de soja. Buenos Aires, Hemisferio Sur S.A., 2004, 147-155 págs.
- Bermúdez, M.; Díaz-Zorita, M.; Espósito, G.; Ferraris, G.; Gerster, G.; Saks, M.; Salvagiotti, F.; Ventimiglia, L. (2014), Fertilización con fósforo en secuencias continuas de soja, XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”, Bahía Blanca. En: <http://inta.gob.ar/documentos/fertilizacion-con-fosforo-en-secuencias-continuas-de-soja/>
- Bianchini, A.; Begnis, A. S.; Peruzzi, D.; Magnelli, M. E.; Lorenzatti, S.; Rabasa, J.; García, F. O. Redes de ensayos de nutrición de cultivos de AAPRESID. En: García, F. O. y Ciampitti, I. A. (eds.), Simposio fertilidad 2007: bases para el manejo de la nutrición de los cultivos y los suelos. Buenos Aires, Grancharoff Impresores, 2007, 28-31 págs.
- Boga, L.; Ramírez, H. (2014), Efecto de la fertilización con fósforo, azufre y zinc en el cultivo de soja en la región pampeana norte de argentina, Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, 16: 17-20.
- Cuniberti, M.; Herrero, R.; Mir, L.; Berra, O.; Macagno, S. (2013), Rendimiento y calidad comercial e industrial de la soja en la Región Núcleo-Sojera. Cosecha 2012-13, EEA Marcos Juárez, INTA. En: http://www.marcosjuarez.com/Admin/Archivos/File/2013/inta_calsoja1213.pdf
- Cuniberti, M.; Herrero, R.; Conde, B. (2014), Cultivares de soja superiores en proteína. Interacción Genotipo x Ambiente. Fertilización, EEA Marcos Juárez, INTA. En: http://www.marcosjuarez.com/Admin/Archivos/File/2014/inta_soja_gxa_fert_mj14.pdf

- De Battista, J.; Arias, N. (2011), Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja, Cultivo de soja en el centro este de E. R., EEA Concepción del Uruguay, INTA, 1-6. En: <http://inta.gob.ar/documentos/respuesta-a-la-fertilizacion-en-soja>
- Díaz Zorita, M. Requerimientos nutricionales del cultivo de soja. En: Díaz Zorita, M. y Duarte, G. A. (eds.), Manual práctico para la producción de soja. Buenos Aires, Hemisferio Sur S.A., 2004, 79-89 págs.
- Ferraris, G. N.; Couretot, L. A.; Urrutia, J. (2012), Fertilización fósforo-azufrada en soja, Estrategia de dosis, localización y momentos de aplicación, EEA Pergamino, UCT Agrícola, INTA. En: <http://inta.gob.ar/documentos/fertilizacion-fosforo-azufrada-en-soja.-estrategias-de-dosis-localizacion-y-momento-de-aplicacion>
- Ferraris, G. N.; Toribio, M. (2014), La fertilización nitrogenada ¿puede incrementar el contenido proteico en los granos de soja?, EEA Pergamino, INTA. En: <http://inta.gob.ar/documentos/la-fertilizacion-nitrogenada-bfpuede-incrementar-el-contenido-proteico-en-los-granos-de-soja>
- Fontanetto, H.; Keller, O.; Albrecht, J. (2009), Efecto de la fertilización foliar con boro y nitrógeno sobre el cultivo de soja, Información técnica cultivos de verano, EEA Rafaela, INTA, 115: 115-123. En: http://rafaela.inta.gov.ar/info/documentos/miscelaneas/115/misc115_115.pdf
- Fontanetto, H.; Keller, O.; Sillón, M.; Albrecht, J.; Giailevra, D.; Negro, C.; Belotti, L. (2011), Manejo de la fertilización de la soja en regiones templadas, Información técnica cultivos de verano, EEA Rafaela, INTA, 121: 100-107. En: <http://inta.gob.ar/documentos/manejo-de-la-fertilizacion-de-la-soja-en-regiones-templadas/>
- Galarza, C.; Gudelj, V.; Vallone, P. (2001), Soja: Resultados de Ensayos de la Campaña 2000/2002 (Tomo 2), Fertilización del cultivo de soja, Información para Extensión n°69. INTA Marcos Juárez, 1-4. En: <http://www.profertilnutrientes.com.ar/images/archivos/607.pdf>
- 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, IPNI, Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, 3: 1-5. En: [https://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/687EB35881DAE7260325791F006EEA05/\\$file/ATTMZR1Z.pdf](https://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/687EB35881DAE7260325791F006EEA05/$file/ATTMZR1Z.pdf)
- García, F. O. (2007), Intensificación Ecológica de los Sistemas de Producción de la Región Pampeana de Argentina, XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo – SLCS – León, Guanajuato, México. En: <http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b8525790000>

[57902e/53b43dad9c126e27032579050071b657/\\$FILE/FGarcia-Int%20Ecologica%20Argentina%20CLACS%202007.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/3234DEDECDFD3B41E85257999005FC651/$FILE/FGarcia-Int%20Ecologica%20Argentina%20CLACS%202007.pdf)

- García, F. O. (2005), Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo, INPOFOS, Informaciones Agronómicas, 27: 1-19. En: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/3234DEDECDFD3B41E85257999005FC651/\\$FILE/FGarcia%20-%20Soja%20CriteriosFertilizaci%C3%B3n.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/3234DEDECDFD3B41E85257999005FC651/$FILE/FGarcia%20-%20Soja%20CriteriosFertilizaci%C3%B3n.pdf)
- González Sanjuán, M. F.; Grasso, A. A.; Bassi, J. (2013), Fertilizantes en Argentina: análisis del consumo, Revista Fertilizar, 25. En: <http://www.manualfitosanitario.com/articulo-detalle.php?id=560>
- Gutiérrez Boem, F. H. Nutrición del cultivo. En: Satorre, E. (ed.), Producción en soja. Buenos Aires, Asoc. Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola, 2008, 45-53 págs.
- Martínez, F.; Cordone, G. (2005), Fertilización en soja con micronutrientes, INTA Casilda. En: <http://www.profertilnutrientes.com.ar/images/archivos/562.pdf>
- Martínez, F.; Cordone, G. (2015), Impacto de la fertilización en soja sobre la calidad del grano, IAH 18, IPNI, 17-21. En: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/09DD01D2BDADA9A503257E5E00008A33/\\$FILE/17.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/09DD01D2BDADA9A503257E5E00008A33/$FILE/17.pdf)
- Melgar, R. J.; Lavandera, J.; Torres Duggan, M.; Ventimiglia, L. (2001), Respuesta a la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz, Ciencia del suelo, EEA Pergamino, INTA, 19 (2): 109-114. En: http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_19n2/melgar_109-114.pdf
- Munévar Martínez, F. (1988), Efecto de la localización de fertilizante fosfórico en el crecimiento radical y la absorción de agua por la soja, Revista ICA (Colombia), 23: 167-174. En: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=bac.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=017547>
- Murgio, M.; Barbieri, P.; Barbagelata, P.; Barraco, M.; Soldini, D.; Salines, L.; Gidelj, V. (2014), Contenido de proteína del grano de soja como respuesta a distintas estrategias de fertilización y rotación, EEA Marcos Juárez, INTA, EEA Balcarce, INTA. En: <http://inta.gob.ar/documentos/contenido-de-proteina-del-grano-de-soja-como-respuesta-a-distintas-estrategias-de-fertilizacion-y-rotacion>
- Petri, J.; Toribio, M. (2009), Fertilización Balanceada, PROFERTIL, Departamento de Investigación y desarrollo, 17: 1-12. En: <http://www.profertilnutrientes.com.ar/images/archivos/?id=653>
- Ripa, L. 2015. Efectos de distintos nutrientes sobre el rendimiento, peso de mil granos, número de granos y número de nódulos de soja en la localidad de

- Carmen de Areco [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/efectos-distintos-nutrientes-rendimiento.pdf> [Fecha de consulta: 21/03/2016]
- Salvagiotti, F. (2013), Respuesta a la fertilización con boro en el sur de Santa Fe, Nutrición vegetal y fertilidad de suelos, EEA Oliveros, INTA, 1-6. En: <http://inta.gob.ar/documentos/respuesta-a-la-fertilizacion-con-boro-en-soja-en-el-sur-de-santa-fe>
- SIIA (2016), Sistema integrado de información Agropecuaria, Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación. Consulta: 30 marzo 2016. En: www.siaa.gov.ar
- Soldini, D. O.; Salines, L. A.; Heredia, A. (2008), Fertilización y contenido de proteína en soja, EEA Marcos Juárez, INTA. En: <http://inta.gob.ar/documentos/fertilizacion-y-contenido-de-proteina-en-soja/>
- Torres Duggan, M. Calidad de fertilizantes: ¿Cuáles son las principales propiedades y atributos que determinan su valor agronómico?. En: García, F. O. y Ciampitti, I. A. (eds.), Simposio fertilidad 2007: bases para el manejo de la nutrición de los cultivos y los suelos. Buenos Aires, Grancharoff Impresores, 2007, 5 pág.
- Torres Duggan, M.; Rodríguez, M. B. (2009), Simposio de Fertilidad, IPNI Cono Sur, Fertilizar Asociación Civil, Rosario, 1-15. En: <http://www.tecnoagro.com.ar/notas/fertilidad/manejo-de-fertilizacion-azufrada.pdf>
- Ventimiglia, L.; Torrens Baudrix, L. (2014), Soja: fertilización foliar, una ayuda para mejorar el rendimiento, EEA Pergamino, Territorio agrícola ganadero del Centro, AER 9 de Julio, INTA. En: <http://inta.gob.ar/documentos/soja-fertilizacion-foliar-una-ayuda-para-mejorar-el-rendimiento/>
- Ventimiglia, L.; Torrens Baudrix L. (2015), Efecto de la fertilización sobre el rendimiento de soja, EEA Pergamino, UCT Agrícola Ganadera del Centro, AER 9 de Julio, INTA. En: <http://inta.gob.ar/documentos/efecto-de-la-fertilizacion-sobre-el-rendimiento-de-soja>
- Vivas, H. S.; Vera Candiotti, N.; Albrecht, R.; Martins, L.; Hotián, J. L. (2010), Beneficios productivos y económicos en trigo/soja por la fertilización con P y S en una rotación trigo/soja-maíz-soja, Relación con el P extractable, Cooperativa Bernardo de Irigoyen, EEA Rafaela, INTA, Revista Soja “Para mejorar la producción”, EEA Oliveros, INTA, 45: 73-80. En: <http://inta.gob.ar/documentos/beneficios-productivos-y-economicos-en-trigo-soja-por-la-fertilizacion-con-p-y-s-en-una-rotacion-trigo-soja-maiz-soja.-relacion-con-el-p-extractable-1/>

Anexos

Detalle de las precipitaciones:

- **Tabla A: Registro precipitaciones año 2005-2015 en mm (datos INTA Chacabuco).**

Registro de lluvias última década Chacabuco en mm													
Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Anual
2005	122	78	195	73	10	23	73	78	59	57	122	73	963
2006	201	207	126	134	7	49	25	0	40	276	73	151	1289
2007	154	231	314	140	73	21	4	5	74	146	80	70	1312
2008	163	248	175	1	0	21	42	11	35	88	143	34	961
2009	26	102	45	123	29	7	70	4	172	105	179	276	1138
2010	144	330	133	50	103	9	50	3	131	83	30	84	1150
2011	212	114	186	74	72	40	48	13	31	86	86	26	988
2012	122	118	70	49	90	9	0	139	64	222	123	118	1124
2013	46	69	214	45	77	10	43	0	18	61	247	44	874
2014	142	177	124	153	105	35	59	62	15	169	171	40	1252
2015	163	29	104	89	75	53	50	192	28	109	117	54	1063

Detalle del análisis de la varianza y los contrastes realizados para cada variable de estudio con el programa estadístico Infostat:

• **Tabla B: Rendimiento**

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	32	0,39	0,11	12,30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10126660,00	10	1012666,00	1,37	0,2594
Bloque	3684652,05	3	1228217,35	1,66	0,2054
Tratamiento	6442007,95	7	920286,85	1,25	0,3231
Error	15512999,99	21	738714,29		
Total	25639659,99	31			

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
Contraste1	-304,90	607,75	185921,92	1	185921,92	0,25	0,6211
Contraste2	1204,57	607,75	2901953,68	1	2901953,68	3,93	0,0607
Contraste3	899,67	607,75	1618812,22	1	1618812,22	2,19	0,1536
Contraste4	143,77	607,75	41336,75	1	41336,75	0,06	0,8153
Contraste5	-341,95	607,75	233863,02	1	233863,02	0,32	0,5796
Contraste6	93,87	607,75	17623,15	1	17623,15	0,02	0,8787
Contraste7	-432,01	607,75	373265,28	1	373265,28	0,51	0,4850
Contraste8	-743,97	607,75	1106975,28	1	1106975,28	1,50	0,2345
Total			6442007,95	7	920286,85	1,25	0,3231

• **Tabla C: Proteína**

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Proteína	24	0,53	0,23	1,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,16	9	0,24	1,78	0,1610
Bloque	1,68	2	0,84	6,23	0,0116
Tratamiento	0,48	7	0,07	0,51	0,8131
Error	1,88	14	0,13		
Total	4,04	23			

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
Contraste1	0,17	0,31	0,04	1	0,04	0,31	0,5867
Contraste2	0,10	0,31	0,02	1	0,02	0,11	0,7434
Contraste3	0,27	0,31	0,11	1	0,11	0,79	0,3884
Contraste4	0,00	0,31	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Contraste5	-0,23	0,31	0,08	1	0,08	0,61	0,4490
Contraste6	-0,17	0,31	0,04	1	0,04	0,31	0,5867
Contraste7	-0,10	0,31	0,02	1	0,02	0,11	0,7434
Contraste8	-0,33	0,31	0,17	1	0,17	1,24	0,2845
Total			0,48	7	0,07	0,51	0,8131

- **Tabla D: Aceite**

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Aceite	24	0,54	0,24	0,52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,28	9	0,03	1,80	0,1557
Bloque	0,09	2	0,05	2,69	0,1028
Tratamiento	0,19	7	0,03	1,55	0,2295
Error	0,24	14	0,02		
Total	0,52	23			

Contrastes

Tratamiento	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Contraste1		0,03	0,11	1,7E-03	1	1,7E-03	0,10	0,7602
Contraste2		-0,07	0,11	0,01	1	0,01	0,39	0,5436
Contraste3		-0,03	0,11	1,7E-03	1	1,7E-03	0,10	0,7602
Contraste4		0,03	0,11	1,7E-03	1	1,7E-03	0,10	0,7602
Contraste5		0,10	0,11	0,01	1	0,01	0,87	0,3662
Contraste6		0,00	0,11	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Contraste7		0,07	0,11	0,01	1	0,01	0,39	0,5436
Contraste8		0,30	0,11	0,14	1	0,14	7,85	0,0141
Total				0,19	7	0,03	1,55	0,2295

Detalle de las medidas de resumen para las distintas variables de estudio:

- **Tabla E: Rendimiento**

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1	Rendimiento	4	6498,58	445,52	6,86	6226,40	7164,62
2	Rendimiento	4	6193,69	167,67	2,71	5942,49	6287,57
3	Rendimiento	4	7398,25	1065,67	14,40	6021,07	8602,22
4	Rendimiento	4	7542,02	1000,79	13,27	6514,82	8870,60
5	Rendimiento	4	7200,07	918,61	12,76	6281,29	8447,57
6	Rendimiento	4	7293,94	1587,94	21,77	5278,62	8931,15
7	Rendimiento	4	7110,01	612,85	8,62	6749,31	8025,81
8	Rendimiento	4	6654,29	542,60	8,15	5890,14	7056,00

- **Tabla F: Proteína**

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1	Proteína	3	34,63	0,92	2,67	34,10	35,70
2	Proteína	3	34,80	0,40	1,15	34,40	35,20
3	Proteína	3	34,90	0,35	0,99	34,70	35,30
4	Proteína	3	34,90	0,62	1,79	34,40	35,60
5	Proteína	3	34,67	0,25	0,73	34,40	34,90
6	Proteína	3	34,50	0,26	0,77	34,20	34,70
7	Proteína	3	34,80	0,20	0,57	34,60	35,00
8	Proteína	3	34,57	0,29	0,84	34,40	34,90

- **Tabla G: Aceite**

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1	Aceite	3	24,93	0,25	1,01	24,70	25,20
2	Aceite	3	24,97	0,15	0,61	24,80	25,10
3	Aceite	3	24,90	0,10	0,40	24,80	25,00
4	Aceite	3	24,93	0,12	0,46	24,80	25,00
5	Aceite	3	25,03	0,12	0,46	24,90	25,10
6	Aceite	3	25,03	0,15	0,61	24,90	25,20
7	Aceite	3	25,00	0,10	0,40	24,90	25,10
8	Aceite	3	25,20	0,10	0,40	25,10	25,30