

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

“Trabajo final para optar
al grado de ingeniero agrónomo”



RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN
DE LA SOJA

Alumno: Thomas Widmer

DNI: 28.522.607

Director: Marcos Bongiovanni

Co-Director: José Marcelino

Río Cuarto – Córdoba

Mayo de 2009

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del trabajo final: “Respuesta a la fertilización en soja”

Autor: Thomas Widmer

DNI: 28.522.607

Director: MSc. Marcos Bongiovanni

Co-Director: Ing. Agr. José Marcelino

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del jurado evaluador:

Fecha de Presentación: ____ / ____ / ____

Aprobado por Secretaria Académica: ____ / ____ / ____

Secretario Académico _____

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por la confianza que depositaron en mí y por su paciencia.

Agradezco en forma especial al profesor y director de trabajo final, MSc. Marcos Bongiovanni, por su apoyo, consejos e información proporcionada para llevar a cabo este proyecto.

A mi amigo e Ing. Agr. Esteban Ristorto, por ser quien me acompañó en la finalización del trabajo y por ayudarme con sus consejos a dar mis primeros pasos laborales, a él mi incondicional amistad.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| Resumen | i |
| Summary | ii |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| ANTECEDENTES..... | 5 |
| HIPÓTESIS..... | 9 |
| OBJETIVOS GENERALES..... | 9 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 9 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 10 |
| Ubicación del ensayo | 10 |
| Metodología de investigación | 10 |
| Características del área donde se realizó el estudio | 11 |
| Condiciones climáticas y agro climáticas del área en estudio | 11 |
| Muestreo y método de análisis | 13 |
| Cálculo de rendimiento relativo | 13 |
| Cálculo de eficiencia del uso del agua | 13 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 14 |
| CONCLUSIONES..... | 23 |
| APÉNDICE..... | 24 |
| Anexo 1. Análisis de la varianza | 24 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 29 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Distribución de precipitaciones en San Eduardo entre Octubre y Junio 06/07..... | 12 |
| Figura 2. Distribución de precipitaciones registradas por la estación experimental de la UNRC entre Noviembre y Julio 04/05 | 12 |
| Figura 3. Efecto del fertilizante sobre el número de vainas/planta en soja. Campaña 06/07, San Eduardo (Santa Fé)..... | 15 |
| Figura 4. Efecto del fertilizante sobre el número de granos/vaina en soja. Campaña 06/07, San Eduardo (Santa Fé)..... | 16 |
| Figura 5. Efecto del fertilizante sobre el número de granos/m ² en soja. Campaña 06/07, San Eduardo (Santa Fé)..... | 17 |
| Figura 6. Efecto del fertilizante sobre el peso de mil granos (soja en grs.). Campaña 06/07, San Eduardo (Santa Fé)..... | 18 |
| Figura 7. Efecto del fertilizante sobre el rendimiento (soja en qq/ha). Campaña 06/07, San Eduardo (Santa Fé)..... | 19 |
| Figura 8. Rendimiento relativo de soja en función de la fertilización a la siembra y a la Urea aplicada en floración del cultivo | 21 |
| Figura 9. Eficiencia del uso del agua (kilogramo de granos producido por milímetro de agua precipitada acumulada) | 22 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Determinaciones de muestras de suelo del horizonte A en San Eduardo, establecimiento Don Felipe | 10 |
| Cuadro 2. Determinaciones de muestras de suelo del horizonte A en Río Cuarto (Campo experimental) | 11 |
| Cuadro 3. Resultados de proteína bruta | 19 |

RESUMEN

En este trabajo se evaluó el efecto de la fertilización fosforada y azufrada sobre el rendimiento, en dos zonas y campañas diferentes, uno se realizó en el establecimiento “Don Felipe” ubicado en la localidad de San Eduardo y el otro en el campus universitario de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Para esto, en el establecimiento “Don Felipe” se midieron los siguientes componentes del rendimiento: plantas/m², vainas/planta, granos/vaina, granos/m², peso de mil y rendimiento, y en el campus universitario sólo se midió el rinde final; finalmente se estimó el rendimiento relativo entre ambas zonas. Además en el establecimiento Don Felipe se evaluó si la aplicación de urea en el estado fenológico R1 (inicio de floración), se traducía en mayor contenido proteico en grano. Los tratamientos estaban constituido por un testigo (1), fertilizado con P y S (2) y fertilizado + urea (3), todos inoculados. Los componentes del rendimiento tuvieron diferentes respuestas; no registrándose diferencias estadísticamente significativas para número de plantas/m², a diferencia del número de vainas/planta en que sí se encontraron diferencias entre los tratamientos. En relación al número de granos/m², no hubo diferencias entre 2 y 3 pero si entre estos y 1. El peso de mil granos tuvo un comportamiento distinto, las diferencias estadísticas se presentaron entre 1 y 3. El componente número de granos/vaina se mostró estable entre los tratamientos. Por último el rendimiento mostro diferencia significativa entre los tratamientos fertilizados (2 y 3) con el testigo (1) por lo tanto la práctica de fertilización benefició el aumento de rindes. En relación al contenido proteico en grano no se registraron diferencias entre los tratamientos.

Palabras claves: Estado fenológico, urea, rendimiento relativo.

SUMMARY

In this field project we have evaluated if the phosphide and sulfur fertilization increase significantly yield, in two and completely different areas. One trial is located at “Don Felipe” nearby San Eduardo city and the other one is at the College of the “Universidad Nacional de Rio Cuarto”. At “Don Felipe” we evaluated different components of yield such as plants per square meter, pods per plant, grains per pod, grains per square meter, 1000 grains weight and yield. Whereas at the University College we have just evaluated yield. Finally, we have related both areas into one graphic of relative yield. Secondly, we studied if the fertilization with urea at the phenological state R1 turn into a higher proteic content in grain. The trial consisted in a randomized complete block design with 3 repetitions. The plots had 52 square meter and 3 different treatments. 1) Control, 2) Fertilized, 3) Fertilized + Urea.

Yield components had different results; no significant difference was found for plants per square meter, but there were remarkable differences between the number of pods per plant for the different treatments. We found statistically significant differences between the number of pods per plant in the different treatments. Regarding the number of grains per square meter we didn't find statistically significant differences between number two and three treatments but we found in number one. The 1000 grain weight component had a completely different response, we found differences between number one and three treatment. The number of grain per pod showed a stable response between the different trials. Finally, we found a great yield difference between plots fertilized (2 and 3) and control plot (1). We can clearly resume that the fertilization practice increase yield. To conclude we didn't find significantly differences between the treatments on the content of proteic grain.

Key words: phenological state, Urea, relative yield.

INTRODUCCIÓN

A mediados de la década del '90 aumentó el área sembrada de soja en la región pampeana y extra pampeana en parte desplazando al maíz y al girasol, además de abrirse nuevas zonas de producción, lo que la convirtió en el principal cultivo de grano de Argentina. Inpofos (2003), informó que el rendimiento promedio nacional evolucionó a una tasa menor que el área sembrada con ganancias anuales de 59 kg/ha/año para el período 1991-2002, aunque esta tasa se incrementó a partir de la campaña 1998 (106 kg/ha/año en el período 1998-2002).

La generación de una mayor rentabilidad en la producción de cultivos se basó en el aumento de los rendimientos que permitieron incrementar los márgenes de ganancia y reducir los costos por tonelada de grano producida. En el caso de la soja, los rendimientos potenciales para las distintas zonas de producción y, por ende, a nivel país aún no han sido alcanzados según García *et al* (2001). Si bien las técnicas de manejo han mejorado en los últimos años (variedades, fechas de siembra, distanciamiento entre hileras, control de malezas, cosecha, etc.), el uso de fertilizantes en este cultivo ha sido muy escaso, limitándose a aplicaciones de fertilizantes de arranque en el mejor de los casos. Díaz Zorita (2003), demostró que en la región pampeana la potencialidad de respuesta del cultivo ante situaciones de deficiencia de nutrientes tales como, por ejemplo, fósforo (P) y azufre (S).

Por otra parte, la expansión de la soja y la reducida aplicación de fertilizantes en el cultivo fueron generando balances negativos para los nutrientes del suelo, estos desbalances nutricionales resultaron en la degradación de la fertilidad de los suelos. Un ejemplo evidente lo constituye la zona centro-sur de Santa Fe donde García *et al* (2001), registró que el desarrollo del cultivo de soja, sumado a los efectos de la erosión, redujo drásticamente los contenidos de materia orgánica y fósforo disponible en los suelos, por lo tanto el manejo de nutrientes en rotaciones se planteo de la siguiente manera. Se reconocieron básicamente dos estrategias de manejo en la fertilización de los cultivos: i) reconstrucción y mantenimiento, y ii) nivel de suficiencia, Sims (2000). Reconstruir y mantener el nivel de fertilidad del suelo implica:

- ✓ Conocer la disponibilidad del nutriente en el suelo (análisis de suelo).
- ✓ Establecer un nivel de disponibilidad del nutriente a alcanzar, generalmente considerado a partir de la disponibilidad necesaria para obtener un rendimiento máximo económico.
- ✓ Aplicar la cantidad de nutriente necesaria para llegar al nivel objetivo en el suelo (reconstruir).
- ✓ Reponer la extracción de nutrientes en granos y forrajes mediante la aplicación de fertilizantes, enmiendas y/o abonos orgánicos (mantener).

La filosofía de nivel de suficiencia implica:

- ✓ Conocer la disponibilidad del nutriente en el suelo (análisis de suelo).
- ✓ Aplicar la cantidad de nutriente suficiente, según el nivel del nutriente en

suelo, para alcanzar el rendimiento objetivo de cada cultivo en particular.

Debe notarse que ambas filosofías de recomendación utilizan el análisis de suelos como herramienta básica para el manejo de la fertilización, junto con información complementaria tal como cultivo y rendimiento objetivo, otras características relevantes del suelo (MO, CIC, pH, etc.), historia del lote, sistema de manejo, fuente y método de aplicación de nutrientes, etc. Obviamente, pueden existir alternativas intermedias a estas dos líneas, por ejemplo puede trabajarse en un programa de reconstrucción intermedia (es decir sin aplicar toda la dosis necesaria en una operación), básicamente aplicar niveles de suficiencia para alcanzar un rendimiento objetivo. El cultivo de soja presenta una alta acumulación de proteínas en las semillas, lo que la convierte en el cultivo con la mayor demanda de Nitrógeno (N) y la menor producción de biomasa de semilla por fotoasimilado producido. Por esto, el N es el nutriente más crítico para el cultivo, si no existen limitantes mayores, como el contenido de agua al momento de la siembra y durante todo el ciclo del cultivo, el rendimiento de soja es función directa de la capacidad de acumular N que exhibe el cultivo. En términos generales, la producción de una tonelada de grano de soja con 40% de proteína, le demanda al cultivo absorber aproximadamente 80 kg de N/ha.

En su carácter de leguminosa, puede cubrir sus requerimientos de N a partir del aporte del N del suelo (por mineralización de la materia orgánica) y por medio de la fijación biológica del nitrógeno. Solamente la complementación de las dos fuentes de N, el suelo y la fijación, son capaces de generar los rendimientos potenciales que prometen los cultivares actuales, asociados a las técnicas de manejo precisas que hoy se conocen. La soja obtiene entre el 25 y el 75% de sus requerimientos nitrogenados a través del mecanismo de fijación biológica, que es energéticamente costoso para la planta (6-12 g. de carbohidratos por cada g. de N fijado) por lo que es común observar estrechas relaciones entre crecimiento del cultivo y fijación biológica. Por lo tanto, factores que restrinjan el crecimiento limitarán la fijación biológica del N y reducirán la eficiencia de este proceso. Zapata *et al* (1987), registraron que en general, el cultivo comienza a fijar N unos 30 días después de la siembra, aumenta hasta alcanzar un máximo durante el período reproductivo e inicio del llenado de granos y disminuye a partir del estadio de desarrollo de R5. Por lo tanto, hay que generar las condiciones para el logro de un buen sistema nodular. El objetivo de la inoculación, es asegurar la mayor cantidad posible de bacterias sobre la semilla, de manera de lograr una rápida infección y la generación de nódulos sobre la raíz principal que sean efectivos para la fijación biológica del nitrógeno. Costilla *et al* (2004) estableció que la inoculación eficiente con el uso de inoculantes de calidad permitió cubrir gran parte de los requerimientos de N

del cultivo e incluso aumentos en los rendimientos, aún en lotes con antecedentes de soja en la rotación. La fijación de N por la simbiosis (*Bradyrhizobium japonicum* – Soja) es ecológica y económicamente importante para los sistemas agrícolas sustentables debido a su efecto positivo en la conservación del N del suelo. La relación simbiótica rizobios-leguminosas es la adaptación al desequilibrio de N. Los suelos agrícolas, usualmente deficitarios en N posibilitaron simbiosis muy eficientes.

Montoya *et al* (1999) y Vázquez (2002), registraron que la intensificación de la agricultura en la región centro-sur de Córdoba, la gran difusión de la soja y del doble cultivo (trigo/soja), con mayores rendimientos y niveles de extracción de nutrientes han provocado disminuciones en la disponibilidad de Fósforo (P), en particular de aquellos suelos con elevada disponibilidad del mismo. Este nutriente, es el segundo elemento limitante para la producción de cultivos luego del N. La soja para producir una tonelada de grano requiere unos 8 kg de P, cantidad que es mayormente exportada en la cosecha. Las deficiencias de P reducen el crecimiento de las plantas, las hojas son pequeñas, de color verde oscuro y de mayor grosor. Las reducciones en los rendimientos como consecuencia de deficiencias en la oferta de P las explicó Gutiérrez (2001), que ocurre principalmente por reducciones en el número de los granos al afectar el área foliar y consecuente captación de la radiación en estadios tempranos de desarrollo del cultivo. Berardo (2003) y García (2003), a fin de contrarrestar esta situación, han promovido la reposición de P mediante fertilización. El conocimiento de la magnitud de la exportación de P por parte de los cultivos y la residualidad en el suelo, surgen como elementos necesarios a fin de efectuar un uso racional de este recurso.

En general, el P del suelo presenta reducida movilidad y elevada residualidad, por lo que cuando la concentración de P disponible es baja según Peterson *et al* (1981), las aplicaciones localizadas produjeron mayores incrementos de rendimiento en kg/ha y eficiencias de utilización que las aplicaciones de P al voleo. Sin embargo, es necesario obtener mayor información acerca de aspectos tecnológicos como el ajuste de la dosis óptima, y evaluar la eficiencia de formas alternativas de aplicación respecto de la tradicional localización de los fertilizantes al costado de la línea de siembra o junto con la semillas que podrían afectar la emergencia de las mismas y generar mayores costos de aplicación en relación con las aplicaciones al voleo en superficie. En este sentido Bianchini (2003), mostró resultados alentadores a la aplicación anticipada al voleo de dosis elevadas de fertilizantes fosforados en siembra directa.

En aquellos suelos con un sistema de agricultura continua de varias décadas es factible que junto a las necesidades de P también existan carencias de azufre (S) como ocurre con algunos suelos degradados del sur de Santa Fe y en numerosas zonas de la región pampeana. El mismo es requerido a razón de unos 7 kg/tn de grano producido, es uno de los

diez elementos más necesarios para la producción de los cultivos y su importancia se equipara a la del N por su constitución en las proteínas, además de las vitaminas y hormonas, al estar vinculados el metabolismo de ambos, deficiencias de S disminuyen la asimilación de N en las hojas. Cordone y Martínez (1998), demostraron que los síntomas de deficiencia son similares a los de N (hojas amarillentas) pero con la diferencia de detectarse en las hojas superiores, en formación o nuevas, y no en las hojas inferiores o viejas. Como se trata de un nutriente casi en su totalidad asociado a la materia orgánica y la misma disminuye gradualmente hacia el este, además, con la intensificación productiva dicho macronutriente según Stevenson (1986) necesita reposición mediante fertilización balanceada.

Aunque el énfasis inicial fue puesto en el P por Fontanetto *et al* (2004), posteriormente comenzó a manifestarse la necesidad del S de un modo más notorio que su expresión en el trigo según Cordone y Martínez (1998), coincidiendo con Mengel (1987), quienes destacaron a las leguminosas como cultivos más demandantes de S que las gramíneas.

El N, P y S son los elementos que en mayor medida regularon y regulan la producción del cultivo de soja, las deficiencias disminuyen el crecimiento del cultivo a través de reducciones en el desarrollo y expansión foliar y en la fotosíntesis foliar. Andrade *et al* (2000), demostraron que con disminuciones en la disponibilidad de nutrientes se reduce, la intercepción de radiación y la eficiencia de conversión de la radiación en biomasa, por lo que la tasa de crecimiento del cultivo disminuye.

Ambrogio *et al* (2000), concluyeron que la adecuada nutrición del cultivo permite optimizar la eficiencia de uso de los recursos e insumos utilizados en la producción, además conocer y solucionar las deficiencias nutricionales permite ajustar las prácticas de manejo, específicamente de fertilización, para alcanzar los rendimientos máximos económicos. La fertilización en soja se planteo a partir de la necesidad de mejorar los rendimientos y la rentabilidad del cultivo, y los balances de nutrientes en los suelos para mantener y/o mejorar su capacidad de producción.

ANTECEDENTES

Según García *et al* (2001), los nutrientes generalmente deficientes en trigo son N, P y S, mientras que P y S son los más frecuentemente deficientes en soja. Albrecht *et al* (2000), registraron mediante ensayos que el P y el S no fueron absorbidos por el primer cultivo, pueden ser utilizados por el cultivo o los cultivos siguientes. La soja seguida de un trigo (soja de segunda) constituye el principal cultivo de verano en la región pampeana norte, presenta gran adaptabilidad para desarrollarse y producir en suelos con ciertas limitantes, esta propiedad puede sugerir una escasa demanda de nutrientes; García (2000), demostró que la soja es el cultivo agrícola de mayor requerimiento en estos nutrientes.

Todos los cultivos tienen requerimientos específicos y absolutos, los cuales deben ser satisfechos para alcanzar altos rendimientos. Radiación, agua y nutrición son los principales requerimientos a ser cubiertos. En el caso de la soja, Fehr y Caviness (1977), pudieron establecer que el número de granos por superficie está relacionado con la fotosíntesis del cultivo entre floración y mediados de llenado de granos, siendo particularmente críticos los estadios comprendidos entre R4-R5.

Según Vasilas *et al* (1995), el objetivo es desarrollar para cultivares de crecimiento determinado un óptimo estado a floración (R1-2) que permita interceptar eficientemente toda la radiación incidente y maximizar la tasa de acumulación de materia seca durante el período de llenado de granos. Para alcanzar este objetivo, entre otros factores, el cultivo debe cubrir sus necesidades nutricionales.

Situaciones desfavorables para el crecimiento de cultivares determinados durante R3 pueden reducir el número de vainas. Sin embargo Andriani *et al* (1991), establecieron que las pérdidas en este estadio pueden ser compensadas por la producción de nuevas flores y frutos una vez aliviado el estrés; por ejemplo cultivos de soja en Balcarce no sufrieron pérdidas de rendimiento significativas aún creciendo bajo déficit hídrico durante el período R1-R4.

Es necesario hacer una clara diferenciación y establecer qué porcentaje de N proveniente del suelo es absorbido por la planta y qué porcentaje es aportado por la fijación del N atmosférico. Existen trabajos que mostraron a la soja como un cultivo muy eficiente en la utilización del N disponible del suelo $N-NO_3^-$ (N suelo + N fertilizante) en profundidad, proveniente de la mineralización de la materia orgánica o del fertilizante, reduciendo considerablemente las pérdidas por lixiviación. El agregado de fertilizante a suelos con muy baja fertilidad no afectó la fijación del N atmosférico pues estaría suministrando la parte que debería aportar naturalmente el suelo. Por el contrario, según Fertilizar (2004), situaciones de alta fertilidad de suelo con el agregado de altas cantidades de fertilizantes (superiores a 200 kg. de N por hectárea) podría disminuirse la fijación simbiótica.

Si bien algunas evaluaciones, en especial en cultivos de segunda bajo siembra directa, se han observado respuestas a aplicaciones reducidas de N a la siembra, ensayos realizados en el centro-norte de Buenos Aires por Scheiner *et al* (1999) y en el sur de Santa Fé por Bodrero *et al* (1984), indicaron que logrando simbiosis, la soja no responde a la fertilización nitrogenada.

Las leguminosas en asociación simbiótica nunca fijan el 100% del N que la planta requiere, pero el rango puede estar entre 60-70% del N según Fontanetto *et al* (2004). El sistema simbiótico rizobio-soja, requiere que no haya condicionantes por exceso o por defecto para el desarrollo normal del cultivo. Uno de los factores que limitan la fijación de N en soja es la presencia de formas combinadas de N en el suelo. Lett *et al* (1999), demostraron que suelos fértiles con moderada o alta disponibilidad de formas inorgánicas de N o con altas tasas de mineralización durante el ciclo del cultivo afectaron el establecimiento de la simbiosis ya que retardaron el inicio de la nodulación y/o inhibieron el funcionamiento del sistema, además carencias de macronutrientes como P, K, Ca, S y de micronutrientes disminuyeron la formación de nódulos y por consiguiente la FBN.

En función del objetivo principal, será la fuente de N a utilizar, ya que el N proveniente de fertilizantes genera incrementos en el rendimiento, mientras que el N proveniente de la fijación tiende a aumentar el porcentaje de N en grano, no hay que olvidar que si bien actualmente se paga por cantidad de grano y no tanto por calidad, es necesario tener en cuenta que no podemos dejar deprimir la calidad, ya que numerosos países están comenzando a pagar en función de la calidad de los mismos, según datos reportados por Ballone (2000). La fertilización nitrogenada en etapas tardías del ciclo del cultivo puede ser una estrategia interesante a considerar para producir aumentos considerables de rendimiento, sobretodo en lotes con reducida historia sojera. Syverud *et al* (1980) mostraron que cultivos de soja mal nodulados, ya sea por un mal manejo de la inoculación o ambientales (stress hídrico y/o anegamientos transitorios), respondieron significativamente a la fertilización nitrogenada complementaria en etapas reproductivas como el llenado de grano. Así, fue posible obtener importantes respuestas del orden de los 600-1000 kg/ha y mejoras en la calidad de los granos en cuanto al contenido de N en el mismo cercanos y aún superiores al 40%. Las experiencias por Wesley *et al* (1998); Scheiner *et al* (1999) y Ventimiglia *et al* (1999) con fertilizaciones durante el período reproductivo, destinadas a proveer N durante el llenado de grano cuando la actividad de los nódulos disminuye, han mostrado resultados variables según la oferta de N del suelo, el estado y crecimiento del cultivo y el rendimiento obtenido.

El período más crítico del desarrollo en términos de la determinación del rendimiento, se inicia alrededor de R3-R4 y se extiende hasta R6. El subperíodo comprendido entre R4.5 y R5.5 es especialmente crítico pues la floración se completa y las

vainas y las semillas pequeñas pueden abortar bajo condiciones ambientales no adecuadas. Por el contrario, condiciones adversas entre R6.5-R7 produjeron efectos de menor magnitud pues las semillas ya han acumulado una gran parte de su peso seco total según Andriani *et al* (1991).

La soja se caracteriza por presentar niveles críticos de P en suelo, por debajo de los cuales se observan respuestas significativas a la fertilización, menores a los de otros cultivos tales como alfalfa, trigo y maíz. Esta diferencia fue atribuida, entre otras causas, a cambios generados en el ambiente rizosférico del cultivo y al alto costo energético de los granos de soja (aceite + proteína). Melgar *et al* (1995), recopilaron información de 65 ensayos realizados en el país y encontraron un 70% de probabilidad de obtener respuestas de incremento de rendimiento de 300 kg/ha con aplicaciones de 60 kg/ha de superfosfato triple en presembrado o superiores en suelos con menos de 9 ppm de P Bray (extractante utilizado) y una probabilidad del 40% de obtener respuestas de 200 kg/ha o superiores en suelos con 9 a 14 ppm de P Bray. Los mayores rendimientos obtenidos por Parra (1997); Avellaneda *et al* (1999); Melgar *et al* (1999); Sánchez *et al* (1999); Scheiner *et al* (1999); Vivas (1999); Barbagelata *et al* (2002) y Díaz Zorita *et al* (2002) en los últimos años han resultado en una mayor demanda de P con respuestas en rendimiento en suelos de mayor nivel de P disponible (10-12 ppm P Bray 1). Por lo tanto, valores cercanos a los 15 ppm de P disponible pudo establecerse como nivel crítico en el suelo. La forma de colocación del fertilizante influyó marcadamente en los rendimientos del cultivo. La aplicación en bandas al costado y por debajo de la línea de siembra normalmente constituyó la forma más eficiente, especialmente ante problemas de pH o fijación por parte de las arcillas. La incorporación al voleo eliminó la posibilidad de daño por parte del fertilizante hacia la semilla cuando se trató con productos que tuvieron N. Otro de los nutrientes a tener en cuenta es el S, que ha demostrado gran deficiencia en numerosos lotes de producción del sudeste de Córdoba.

En general, Tisdale *et al* (1993) determinaron que las situaciones comunes en las que se encontraron deficiencias de S fueron: 1) suelos arenosos de bajo contenido de materia orgánica; 2) sistemas de cultivo intensivo, suelos degradados; 3) uso de fertilizantes con menor contenido de S, 4) control de contaminación ambiental, menor aporte atmosférico de S y; 5) exceso de precipitaciones y/o riego. En los últimos años ha habido una creciente demanda de los productores de la zona respecto del uso de fertilizantes azufrados en el cultivo de soja. A partir del 2000, varios productores han realizado franjas exploratorias con fertilizantes azufrados en lotes de soja, con resultados positivos principalmente en el centro-sur de Santa Fé, Cordone *et al* (2001), estas condiciones definieron los ambientes de mayor probabilidad de respuesta a la fertilización azufrada. Las respuestas en soja han sido observadas sobre suelos degradados con muchos años de agricultura continua, tanto en

cultivos de siembra de primera con aplicaciones directas, como en cultivos de segunda con aplicaciones de S en el cultivo antecesor, generalmente trigo, según Oleaginosas (2008).

Cordone y Martínez (1998) recomendaron que las dosis de S variaban, según el nivel de rendimiento esperado y la historia agrícola del lote, entre 10 y 15 kg/ha de S en soja de primera y entre 15 y 20 kg/ha de S en aplicaciones en trigo para el doble cultivo trigo/soja. En lotes con varios años de aplicación de S, se requirieron dosis menores, probablemente por el efecto residual de las fertilizaciones previas. Además, observaron un aumento en los rendimientos por la fertilización azufrada en la mayoría de los sitios. Las respuestas más frecuentes estuvieron en el rango de 230 a 520 kg/ha, habiendo respuestas superiores a los 1000 kg/ha, en lotes con más de 25 años de agricultura.

Para caracterizar la respuesta a la inoculación y fertilización en soja en siembra directa Apresid realizó una serie de tratamientos al sur de Córdoba (testigo; inoculado; P+S+Inoculado). El rendimiento promedio de todos los sitios evaluados, indicaron que las prácticas de inoculación y fertilización produjeron aumentos de rendimiento, pero la combinación de ambas fue la que produjo mayores incrementos (495 kg/ha más que el testigo), según Costilla *et al* (2004).

HIPÓTESIS

- ✓ La fertilización fosforada y azufrada mejora significativamente el rendimiento de la soja.
- ✓ La aplicación de Nitrógeno (UREA) en floración incrementa el contenido proteico en grano.

OBJETIVOS GENERALES

- ✓ Evaluar en el cultivo de soja de grupo de madurez IV (cuatro corto) la respuesta ante la aplicación de fósforo y azufre en el momento de la siembra, en la región sur de la provincia de Santa Fé.
- ✓ Evaluar el contenido proteico en grano ante la aplicación de Nitrógeno (UREA) en el estadio R1.
- ✓ Comparar las prácticas de fertilización en relación al rendimiento en dos zonas diferentes, Río Cuarto (Córdoba) y San Eduardo (Santa Fé).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar componentes del rendimiento, en función a la fertilización.

- ✓ Plantas/metro².
- ✓ Número de vainas/planta.
- ✓ Número de granos/vaina.
- ✓ Número de granos/metro².
- ✓ Peso de mil granos.
- ✓ Rendimiento en grano.
- ✓ Proteína bruta en grano.

Comparar el comportamiento de ambos ensayos en función de la fertilización y el agregado de urea en floración a través del rendimiento relativo en ambas zonas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del ensayo:

Los ensayos se realizaron en el establecimiento “Don Felipe”, ubicado en la localidad de San Eduardo, a unos 27 km. al suroeste de la ciudad de Venado Tuerto, provincia de Santa Fé, Argentina. Y en el campus de la UNRC.

Metodología de investigación:

El diseño utilizado en ambos ensayos (establecimiento “Don Felipe” y campo experimental de la UNRC), fue de bloques completos al azar con tres repeticiones, y las dimensiones fueron de 5 surcos de ancho, por 20 metros de longitud. Se utilizó en ambos casos una sembradora neumática Agrometal TX de 9 surcos a una distancia de 52 cm., con la cual se sembró en el establecimiento “Don Felipe” la variedad “Don Mario 4200” el día 08/11/06; y para el ensayo realizado en el campo experimental de la UNRC, se sembró la variedad “Nidera 4303” el día 22/12/04 ambas en labranza cero y sobre un cereal de invierno como antecesor.

La cosecha se realizó a mano y con repeticiones dentro de cada subparcela.

Los tratamientos fueron los siguientes:

- 1) Bradyrhizobium T (Testigo).
- 2) Bradyrhizobium + P + S (23 kg P₂O₅ + 18 kg S).
- 3) Bradyrhizobium + P + S + U (23 kg P₂O₅ + 18 kg S + 28 kg N).

El análisis de suelos es una herramienta confiable para predecir deficiencias de nutrientes, por tal motivo, semanas previas (dos) a iniciarse los ensayos se procedió a la toma de muestras de suelo (0-20cm), para analizar y posteriormente aplicar fertilizante a la siembra. Según los análisis los datos obtenidos fueron los siguientes:

Cuadro 1: Datos de NO₃⁻, P y SO₄²⁻ de muestras de suelo del horizonte A en el establecimiento “Don Felipe”, el 23 de octubre del 2006.

| | San Eduardo |
|--|--------------------|
| Nitratos (NO₃⁻) | 34.93 (ppm) |
| Fósforo (P) | 17.39 (ppm) |
| Azufre (SO₄²⁻) | 10.36 (ppm) |

Cuadro 2: Datos de P y SO_4^{2-} de muestras de suelo del horizonte A en el “campo experimental” de la UNRC, el día 7 de diciembre del 2004.

| Campo Experimental | |
|---|-------------------|
| Fósforo (P) | 12,9 (ppm) |
| Azufre (SO_4^{2-}) | 7 (ppm) |

En San Eduardo el ensayo se fertilizó a la siembra (8/11/06) con Superfosfato Triple y Sulfato de Calcio, en dosis de 50 y 90 kg/ha respectivamente, al costado y por debajo de la línea. En el tratamiento 3 en la etapa de floración (R1), coincidente con el día 19/12/06 se aplicó 60 kg de Urea al voleo con el fin de evaluar el contenido proteico en grano. En el campo experimental de la UNRC, se aplicó una dosis de 100 kg/ha de Superfosfato Simple a la siembra (22/12/04), y la misma dosis de Urea en la etapa de R1 el día 17/02/05.

La cantidad de fertilizante utilizado a la siembra se determinó en función a dosis empleadas por los productores de las zonas. Se trató de cubrir entre el 35% y 60% la demanda de nitrógeno con las dosis de urea utilizadas respectivamente en cada ensayo.

Características del área donde se realizó el estudio:

La localidad de San Eduardo, ocupa un paisaje de lomas planas y extendidas con desagüe medio, en el centro del departamento General López, provincia de Santa Fé. El tipo de suelo es un Argiudol típico, franca fina, mixta, térmica con la siguiente secuencia de horizontes (A1-B1-B2t-B3-C).

El campo experimental, ubicado en la ciudad de Río Cuarto lindero a la UNRC se encuentra sobre un relieve normal, asociado a planicies bajas muy suavemente onduladas con lomas muy achatadas y gradientes entre el 1-3%. El tipo de suelo es Hapludol típico, Franco-arenosa, liviano, oscuro profundo, bien drenado, con buena acumulación de materia orgánica con la siguiente secuencia de horizontes (Ap-Ad-Bw-C).

Condiciones climáticas y agro climáticas del área en estudio:

En relación al clima de la localidad de San Eduardo, su régimen térmico ubica a la zona dentro de las de clima templado, con temperaturas extremas no muy marcadas, es decir veranos e inviernos suaves. La época de heladas comienza a fines de mayo y finaliza a principios de septiembre, siendo el periodo libre de heladas de unos 270 días.

Los datos históricos de la localidad de Río Cuarto, se resumen, en que la temperatura media anual oscila entre los 15° C y 18° C, con una máxima media de 29° C. y una mínima media de 3° C. Con un período libre de heladas de aprox. 285 días. La zona presenta precipitaciones medias de 700 a 900 mm anuales.

A continuación se presenta la distribución de precipitaciones registradas (Fig.1 y Fig.2), durante la campaña, en la localidad de San Eduardo y el campus experimental de la UNRC respectivamente, donde se realizaron los ensayos de soja, “Don Mario 4200” y “Nidera 4303”, respectivamente.

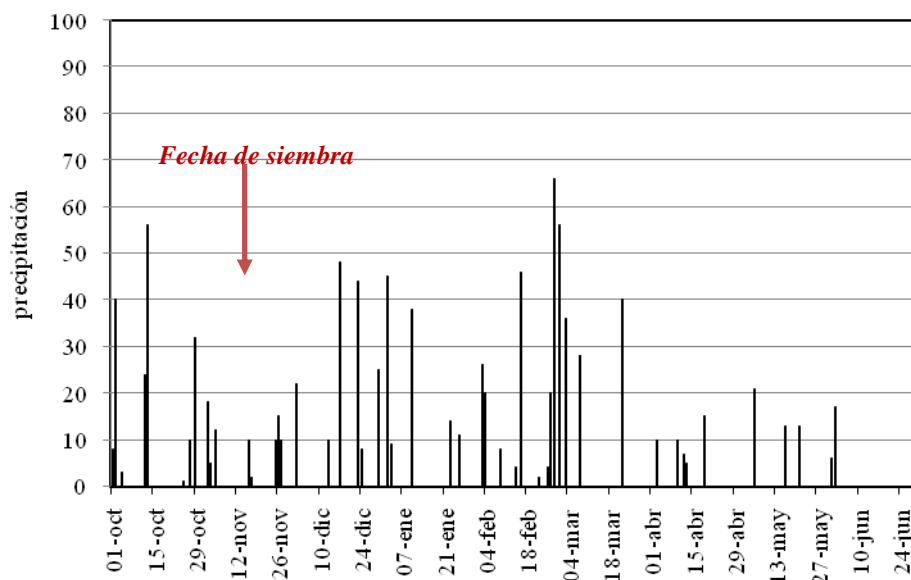


Figura 1: Distribución de Precipitaciones registradas en San Eduardo entre el periodo Octubre del 2006 hasta Junio de 2007.

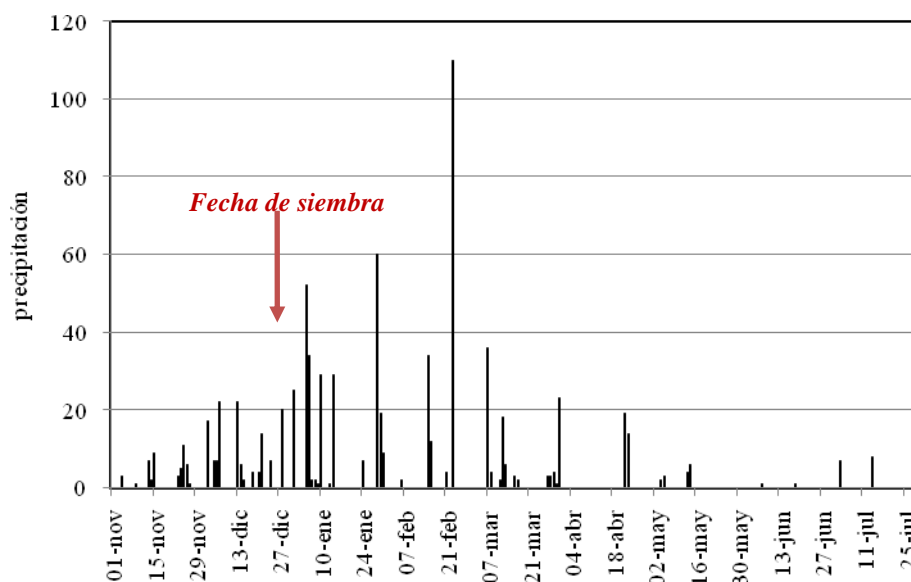


Figura 2: Distribución de Precipitaciones registradas por la estación experimental de la UNRC entre el periodo de Noviembre del 2004 hasta Julio de 2005.

Se observó que para la fecha de siembra en ambas localidades, no hubo problemas de humedad para iniciar la misma el día 8/11/2006, y 22/12/2004, respectivamente, las

condiciones de humedad edáfica fueron óptimas durante ambos ensayos, además no se registraron desbalances severos de humedad que pudieran comprometer la producción.

Durante ambas campañas las temperaturas medias se mantuvieron dentro de los rangos cardinales por lo que no se registró estrés térmico, las cuales permitieron un desarrollo sin alteraciones del cultivo, en todas sus etapas fenológicas.

Los datos fueron analizados mediante ANOVA con el programa Infostat (2007), y las medias comparadas con el test LSD Fisher ($P \leq 0.05$).

Muestreo y método de análisis:

Para llevarlo a cabo se realizaron tres repeticiones por cada tratamiento de 100 m² cada uno. Para el análisis de resultados, se procedió a la toma de 3 muestra de 1 m² por tratamiento ya que presentaban uniformidad de microparcela, y la posterior cosecha se realizó a mano.

Para determinar el contenido proteico en grano se tomo una muestra de cada tratamiento para obtener mediante kjeldahl el dato de proteína bruta final.

Cálculo de rendimiento relativo:

Se tomo para realizar el cálculo, la relación entre rendimientos registrados de cada ensayo separadamente para cada zona en particular.

Para ambas zonas en estudio se calculo el rendimiento relativo, para ello se tomo de cada ensayo por separado al máximo valor (100%), para posteriormente relacionarlo con el resto de los tratamientos. Observando la figura 8 queda expreso en forma porcentual para cada localidad el rendimiento relativo.

Cálculo de eficiencia del uso del agua:

En las localidades de San Eduardo (establecimiento “Don Felipe”) y Río Cuarto (campo experimental de la UNRC), se registraron los datos del agua precipitada en el ciclo ontogénico del cultivo, con el cual se calculó mediante la relación entre los kilogramos de producción de cada tratamiento y las precipitaciones acumuladas durante el ciclo, los kilogramos de granos producidos por milímetro de agua precipitada (Fig.9).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Previo al análisis de los resultados cabe mencionar que al iniciar los ensayos se tuvo presente asegurar una adecuada cobertura vegetal para los mismos, ajustando densidad y distancia entre hileras, con lo cual al finalizar, analizando los datos obtenidos de número de plantas por metro cuadrado no hubo diferencias estadísticamente significativas entre, T, P + S, P + S + U. (Anexo 1).

Componentes de rendimiento:

Número de vainas/planta:

El número de vainas por planta y más específicamente por nudo es el resultado de los fenómenos de generación y mortandad de flores y frutos. La generación comienza con la iniciación de primordios florales tempranamente en el ciclo y prosigue con su posterior desarrollo y crecimiento hasta transformarse en estructuras florales fértiles. El número de vainas que finalmente se establezcan dependerá de cuantas inflorescencias prosperen en cada nudo y cuantas vainas se establecieron en cada nudo. Tanto el número de vainas por nudo y la distribución de las mismas dentro del canopeo está condicionada por el genotipo y altamente variable sobre todo en respuesta a cambios ambientales, según Kantoloic *et al* (2003).

Observando la figura 3, vemos como la fertilización es una práctica indiscutible en este cultivo, para garantizar la demanda de nutrientes, lo que condujo a favorecer la fotosíntesis y maximizar la tasa de crecimiento (P y S) que en su conjunto implicó mayores estructuras reproductivas como plantean Vasilas *et al* (1995).

Por otro lado, se observa una clara diferencia en el agregado de Urea, donde el número de vainas disminuye, en relación al tratamiento con P y S. Esto puede explicarse por la experiencia de Lett *et al* (1998), donde la actividad de los rizobios disminuyó, repercutiendo sobre la supervivencia de las estructuras florales coincidiendo con la disminución de la fijación simbiótica en los ensayos realizados por Fertilizar (2004), en situaciones de alta fertilidad y el agregado de altas cantidades de fertilizantes nitrogenados.

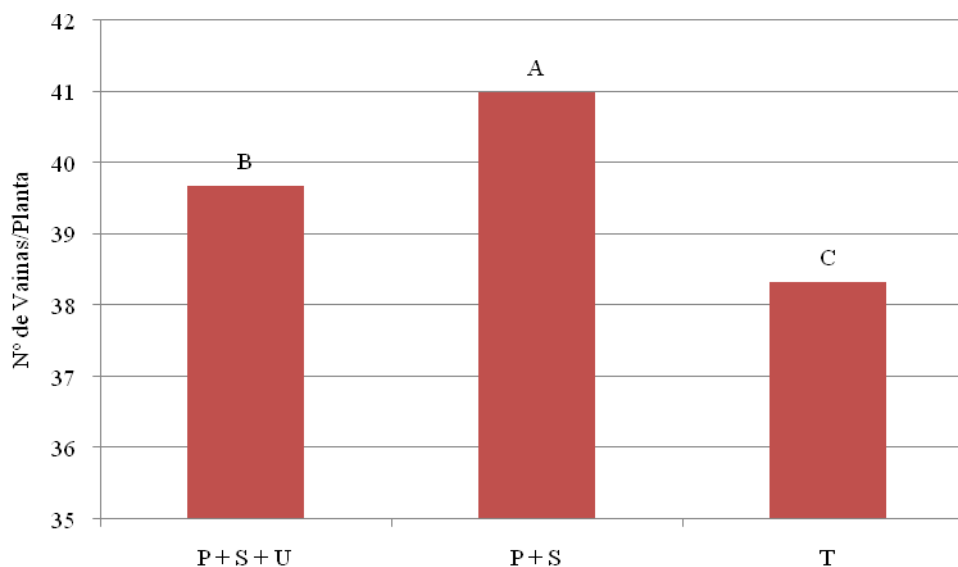


Figura 3. Efecto del fertilizante sobre el Nº de Vainas/Planta en soja. Campaña 2006/07. San Eduardo (Santa Fé). Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,92548. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Número de granos/vaina:

Andriani *et al* (1991), demostró que el estadio R4.5-R5.5 es especialmente crítico ya que, bajo condiciones ambientales no adecuadas los granos de una vaina pueden abortar antes de ingresar en su fase de llenado efectivo, modificando el número de granos logrados por vaina. Aquí se observa (Fig. 4), como no sólo no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos sino que queda expuesto el alto grado de control genético de esta componente, además fue mucho más estable que los demás subcomponentes ante variaciones ambientales. Es destacable como en el estadio R4 las vainas crecen rápidamente y las semillas comienzan a desarrollarse. Luego de la fecundación, la semilla atraviesa una fase de divisiones celulares sin acumulación detectable de materia seca, la cual finaliza cuando el embrión alcanza el máximo de células cotiledonares. Generalmente cuando comienza el periodo de llenado efectivo, las vainas ya han logrado su tamaño definitivo. El estado R5 se caracteriza por semillas que han superado su etapa de división celular y entran en una fase de alta tasa de acumulación de materia seca.

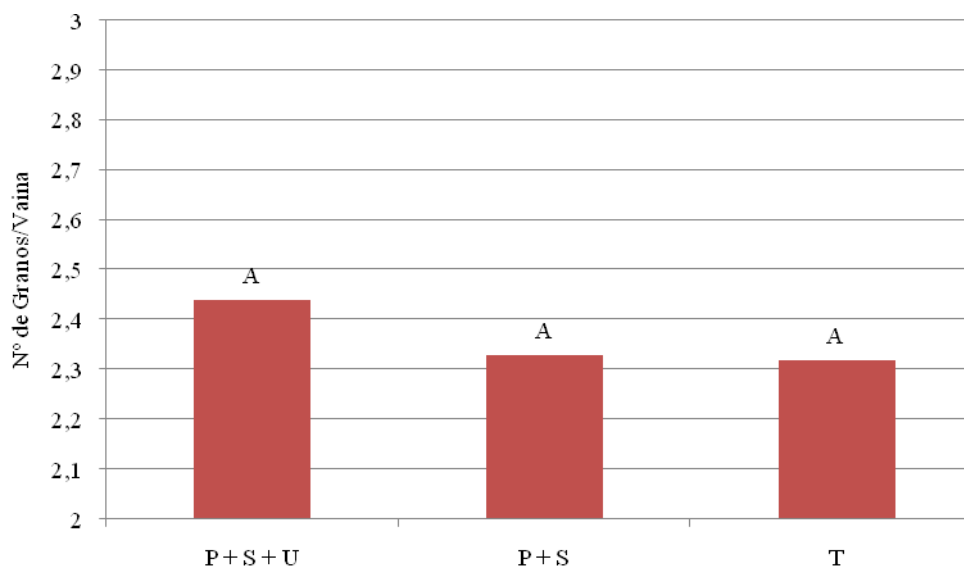


Figura 4. Efecto del fertilizante sobre el Nº de Granos/Vaina en soja. Campaña 2006/07. San Eduardo (Santa Fe). Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,27151. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Número de granos/m²:

En el caso de la figura 5, no se presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con fertilizantes, pero si entre estos (P + S y P + S + U) y el T. El número de semillas por planta, se determina principalmente durante la fijación de vainas (R3-R6) y es función de la tasa de crecimiento de la planta durante esta etapa, por lo tanto este componente del rendimiento se afecta en respuesta a tratamientos que modifiquen el crecimiento de la planta hasta R6.

Coincidiendo con Fehr y Caviness (1977) que la fotosíntesis está estrechamente relacionada con la generación del número de granos por superficie en el período comprendido entre R4-R5, por lo tanto aquellas prácticas de manejo como la fertilización que, entre otras guardan una relación positiva entre ésta componente y la duración del período crítico, al permitir que un mayor crecimiento se acumule durante la etapa de establecimiento de los granos.

Períodos de estrés concentrados durante la floración temprana (R1-R2) producen en general menor efecto en el número de semillas por planta y en el rendimiento. Esto se debe a que el cultivo sigue floreciendo una vez aliviado el estrés (hasta R5) con una menor tasa de abortos de flores y vainas. Además, la soja tiene capacidad para fijar estructuras reproductivas por un largo período, es por ello que ante condiciones de disponibilidades de nutrientes se optimiza.

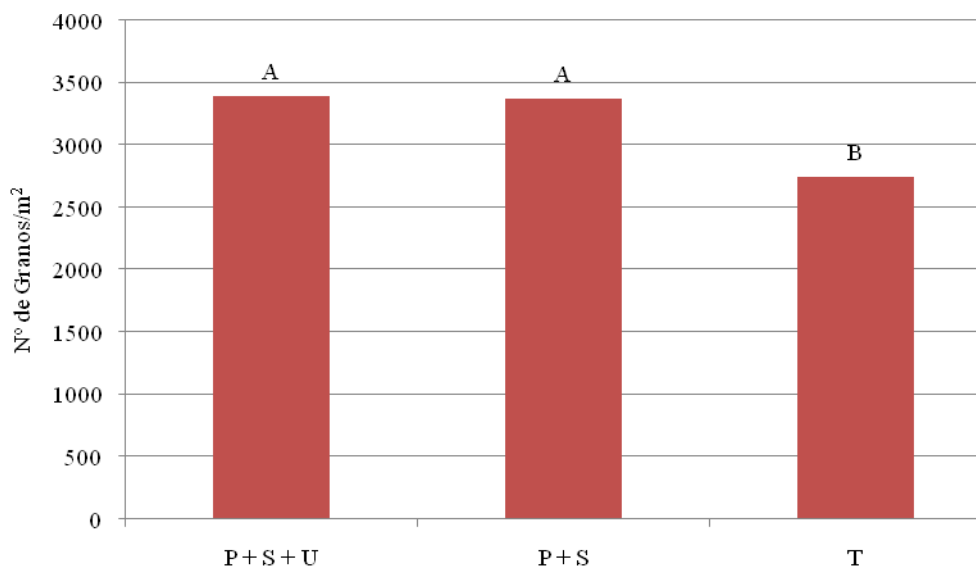


Figura 5. Efecto del fertilizante sobre el Nº de Granos/m² en soja. Campaña 2006/07. San Eduardo (Santa Fe). Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=525,74196. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Peso de mil granos:

Después de la fecundación, en la semilla hay una fase de división y diferenciación celular que dura entre 10 a 20 días donde no se produce un aumento detectable del peso del grano. Posteriormente la semilla acumula materia seca a un ritmo sostenido hasta madurez fisiológica.

Estadísticamente las diferencias se observaron entre (T y P + S + U), no así entre éstas y el P + S, (Fig. 6), recordando que el peso final del grano puede describirse como función de su tasa de crecimiento y de la duración del período de llenado. Ambos están gobernados genéticamente y varían de acuerdo a las condiciones ambientales y nutricionales que a su vez condicionan la disponibilidad de asimilados lo cual repercute en el peso.

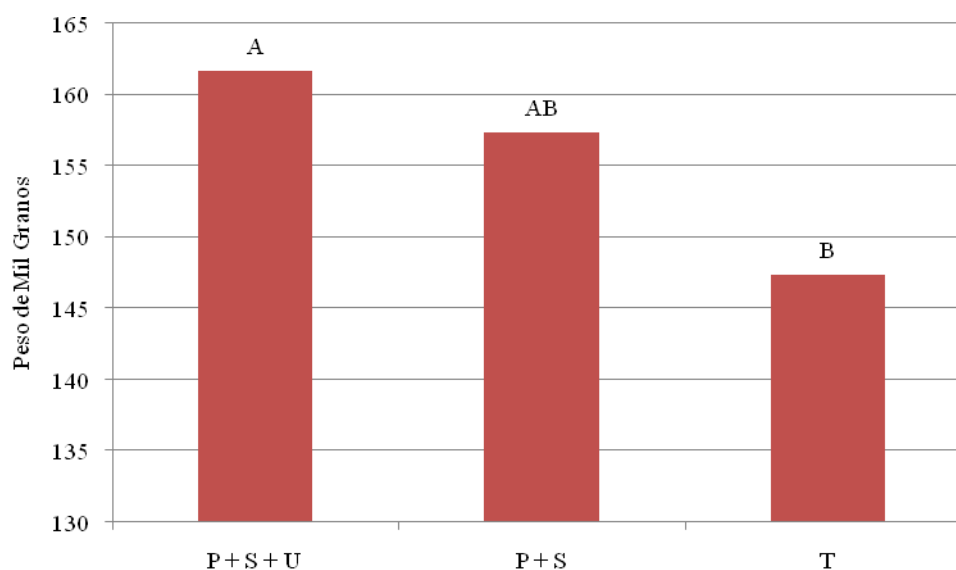


Figura 6. Efecto del fertilizante sobre el Peso de Mil Granos de soja (Grs). Campaña 2006/07. San Eduardo (Santa Fe). Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=13,81005. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Rendimiento:

En la Fig. 7, se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos fertilizados y el testigo lo que evidencia que las prácticas de fertilización y más aún la combinación de ambas (P y S) son las que producen mayores incrementos, coincidiendo con los ensayos realizados por Costilla *et al* (2004).

El relación al nitrógeno, en discrepancia con Ballone (2000), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la producción de los tratamientos fertilizados con N.

Cordone y Martínez, (1998) reportaron resultados de más de 1000 kg/ha en lotes de varios años de agricultura, por lo tanto la historia agrícola del lote juega un papel muy importante en el uso de nutrientes ya que se van consumiendo año tras año, por lo tanto la restitución de los mismos a través de la fertilización es muy importante.

Las diferencias de más de 1000 kg/ha, no solamente son producto a la fertilización sino también a los niveles buenos a moderados de P (17,93 ppm) y S (10,36 ppm) registrados en suelo, que conjugados a buenas prácticas agrícolas, se logran máximos resultados.

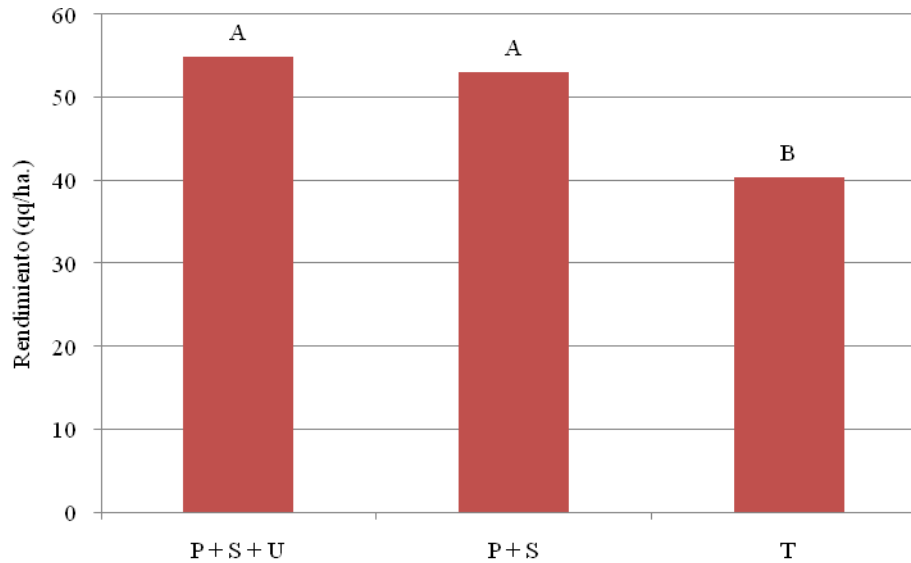


Figura 7. Efecto del fertilizante sobre el Rendimiento en soja (qq/ha). Campaña 2006/07. San Eduardo (Santa Fè). Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,79835. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Cuadro 2: Resultados de las muestras de proteína bruta obtenidas a través del método Kjeldahl.

| | Testigo | P + S | P + S + Urea |
|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Proteína Bruta (% S.S.S.) | 34.85 | 36.04 | 36.48 |

Si bien hay una tendencia a aumentar la proteína bruta con la fertilización, el rango es muy estrecho (Tabla 2), lo que significa que el agregado de Urea no actuó como disparador del contenido proteico del ensayo como se hubiese esperado sino por el contrario no produjo ningún efecto marcado, lo cual coincide con los resultados que mostraron Wesley *et al* (1998) los cuales fueron muy variables y dependientes de las condiciones de cultivo, de manejo y ambientales.

La calidad del grano de soja está definida por el contenido cuantitativo y cualitativo del aceite y las proteínas acumuladas en la semilla. Alrededor del 20% del peso de la semilla es aceite y el 40% proteína. La composición química final de las semillas es el resultado de la acumulación de sustancias de reserva durante el llenado de las semillas. Además aspectos tales como el agregado de nitrógeno, mayor disponibilidad (P y S), la fijación biológica y el ambiente, sobre todo las condiciones prevaecientes durante el llenado de los granos, producen cambios en la composición química. Es frecuente encontrar una relación negativa

entre el porcentaje de proteína y el rendimiento del cultivo aunque muchas veces no son muy notorias según Leffel (1988).

Queda claro que si bien la información sobre el efecto del ambiente y del manejo sobre la composición de las semillas de soja es abundante, esto solo no es suficiente para optimizar la calidad. Aunque existe un avance en el conocimiento de la regulación genética de mucho de los procesos involucrados con la síntesis de sustancias asociadas a la calidad, la interacción genotipo-ambiente es aún poco conocida.

Cálculo de rendimiento relativo:

El rendimiento relativo (Fig. 8), se analizó como indicador de la respuesta al agregado de fertilizante permitiendo comparar los rendimientos obtenidos en campañas de diferentes zonas.

En ambas situaciones se esperaban respuestas positivas al agregado de fertilizantes, teniendo en cuenta que la mezcla de P + S es un complemento nutricional indiscutible como práctica para la producción de esta oleaginosa. Sin embargo, las condiciones iniciales de fertilidad en San Eduardo en relación al P y S eran lo suficientemente buenas como para pensar en un efecto potenciador de las fertilizaciones compuestas, sin embargo la respuesta se encontró con el agregado de P+S y P+S+U, siendo el rendimiento relativo de la fertilización compuesta sin urea un 4% menor que el tratamiento P + S + U.

En el ensayo realizado en Río Cuarto se observó un efecto depresor del rendimiento ante el agregado de de Urea.

Si bien los ensayos se repitieron de igual manera en ambas zonas, aquí el ambiente y las condiciones de cultivo permitieron visualizar que el nitrógeno proveniente del fertilizante generó mayor rinde coincidiendo con los datos reportados por Ballone (2000).

Estas diferencias pueden deberse a múltiples factores, y si bien existen resultados variables en función de las prácticas de fertilización nitrogenada, la misma es una técnica interesante a tener en cuenta para futuras aplicaciones.

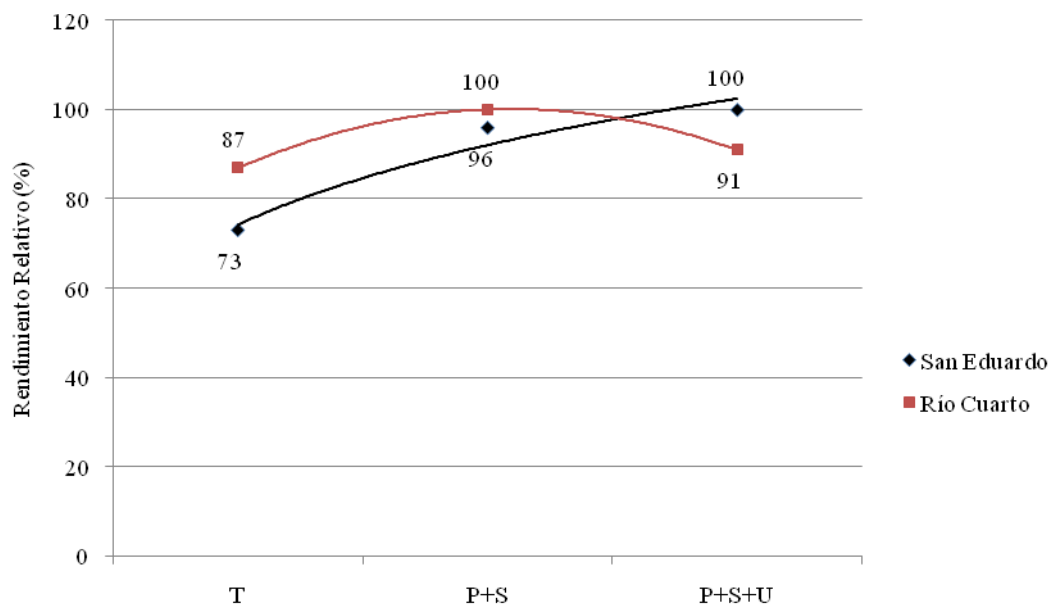


Figura 8. Rendimiento Relativo de soja en función de la fertilización a la siembra y a la Urea aplicada en floración del cultivo.

Cálculo de la eficiencia del uso del agua:

La eficiencia con la cual el cultivo utiliza el agua precipitada en ambas zonas refleja las diferencias entre los ensayos (Fig. 9), más allá de esto y las variaciones en milímetros acumulados, se vio que la nutrición fosforada y azufrada son fundamentales para la soja ya que optimizó la captura de recursos, lo que se tradujo en mayores rindes. Es importante destacar la capacidad de retención de agua del suelo y su disponibilidad para las plantas que dependen de la textura, de la presencia de horizontes limitantes de la profundidad que pueden explorar las raíces y de factores físicos, químicos y biológicos que afectan al suelo y al sistema radical. Para la zona de San Eduardo el suelo es un Argiudol típico y el de Río Cuarto Hapludol típico con lo cual su capacidad de almacenaje es diferente.

En términos de eficiencia podemos destacar que en San Eduardo, con mayores precipitaciones durante el ciclo, los tratamientos fertilizados fueron alrededor de un 30% más eficientes en el uso del agua, traducido en mayores kilos producidos por milímetro precipitado, y si bien en Río Cuarto las eficiencias fueron menores, los resultados demostraron que un cultivo de soja fertilizado mejora la captura de recursos, y bien sabemos que el agua es una limitante en la producción, por tal motivo, debemos eficientizar su uso mediante prácticas como lo es la fertilización, entre otras; ello nos conducirá a lograr una mayor exploración de raíces por mayor proliferación, lo cual nos conducirá a aumentar los rindes.

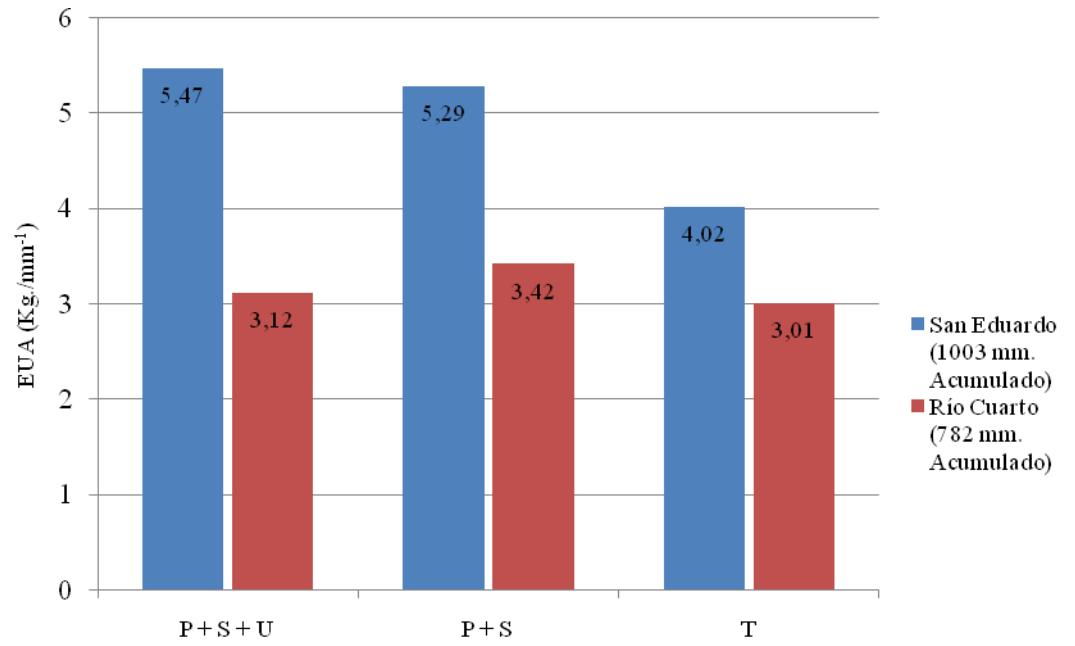


Figura 9. Eficiencia del uso del agua (kilogramo de granos producidos por milimetro de agua precipitada acumulada).

CONCLUSIONES

Si bien el rendimiento de soja es el resultado final de múltiples interacciones que se producen durante todo su ciclo, analizando los componentes se parte sin diferencias estadísticas en el número de plantas/m² (Anexo 1). Para la subcomponentes números de vainas/planta existió una respuesta positiva para fertilización P + S mayor que P + S + U. En relación al número de granos/vaina no se registraron diferencias estadísticas debido a que esta subcomponente presenta un alto grado control genético. En referencia al número de granos/m² queda expuesto como este subcomponente respondió a ambas prácticas de fertilización en relación al T, lo que repercute de igual manera en el rendimiento final obtenido. El efecto de la fertilización sobre el peso de mil granos presentó una diferencia positiva a favor de P + S + U en relación al T. Por otro lado cabe aclarar que la práctica de P + S no se diferenció del Tratamiento T. El agregado de U en floración no produjo un aumento marcado en el contenido proteínico del grano, si bien el N es un elemento que controla la producción del cultivo soja, la misma no respondió ante el agregado de N para aumentar la calidad del grano.

Observando los resultados obtenidos mediante el análisis de rendimiento relativo se concluyó que la fertilización P + S son prácticas indiscutibles dentro de un planteo para la producción de soja ya que presentan un alto grado de correlación positiva con el rendimiento y además son prácticas que como profesionales debemos de incluir para la sustentabilidad nutricional de los suelos y apostar a la conservación de los recursos para la producción.

APÉNDICE

Anexo 1:

Análisis de la varianza:

Número de plantas/m²:

| <u>Variable</u> | <u>N</u> | <u>R²</u> | <u>R² Aj</u> | <u>CV</u> |
|----------------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| pl. x m ² | 9 | 0,70 | 0,40 | 9,48 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| <u>F.V.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Modelo | 103,11 | 4 | 25,78 | 2,36 | 0,2135 |
| Tratamiento | 69,56 | 2 | 34,78 | 3,18 | 0,1492 |
| Bloque | 33,56 | 2 | 16,78 | 1,53 | 0,3205 |
| Error | 43,78 | 4 | 10,94 | | |
| Total | 146,89 | 8 | | | |

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=7,49964

Error: 10,9444 gl: 4

Tratamiento Medias n

| | | | |
|-----|-------|---|---|
| T | 31,00 | 3 | A |
| PSU | 36,33 | 3 | A |
| PS | 37,33 | 3 | A |

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=7,49964

Error: 10,9444 gl: 4

Bloque Medias n

| | | | |
|---|-------|---|---|
| 1 | 32,33 | 3 | A |
| 2 | 35,33 | 3 | A |
| 3 | 37,00 | 3 | A |

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Número de vainas/planta:

| <u>Variable</u> | <u>N</u> | <u>R²</u> | <u>R² Aj</u> | <u>CV</u> |
|-----------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| VxPlan | 9 | 0,98 | 0,95 | 1,03 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| <u>F.V.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|

| | | | | | |
|-------------|-------|---|------|-------|--------|
| Modelo | 27,33 | 4 | 6,83 | 41,00 | 0,0017 |
| Tratamiento | 10,67 | 2 | 5,33 | 32,00 | 0,0035 |
| Bloque | 16,67 | 2 | 8,33 | 50,00 | 0,0015 |
| Error | 0,67 | 4 | 0,17 | | |
| Total | 28,00 | 8 | | | |

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,92548

Error: 0,1667 gl: 4

| Tratamiento | Medias | n | |
|-------------|--------|---|---|
| T | 38,33 | 3 | A |
| PSU | 39,67 | 3 | B |
| PS | 41,00 | 3 | C |

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,92548

Error: 0,1667 gl: 4

| Bloque | Medias | n | |
|--------|--------|---|---|
| 1 | 38,00 | 3 | A |
| 2 | 39,67 | 3 | B |
| 3 | 41,33 | 3 | C |

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Número de granos/vaina:

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|---|----------------|-------------------|------|
| GxVain | 9 | 0,37 | 0,00 | 5,07 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|------|----|-------------|------|---------|
| Modelo | 0,03 | 4 | 0,01 | 0,58 | 0,6937 |
| Tratamiento | 0,03 | 2 | 0,01 | 0,88 | 0,4810 |
| Bloque | 0,01 | 2 | 4,0E-030,28 | | 0,7697 |
| Error | 0,06 | 4 | 0,01 | | |
| Total | 0,09 | 8 | | | |

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,27151

Error: 0,0143 gl: 4

| Tratamiento | Medias | n |
|-------------|--------|---|
|-------------|--------|---|

| | | | |
|------------|-------------|----------|----------|
| T | 2,32 | 3 | A |
| PS | 2,33 | 3 | A |
| <u>PSU</u> | <u>2,44</u> | <u>3</u> | <u>A</u> |

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,27151

Error: 0,0143 gl: 4

Bloque Medias n

| | | | |
|----------|-------------|----------|----------|
| 3 | 2,33 | 3 | A |
| 1 | 2,35 | 3 | A |
| <u>2</u> | <u>2,40</u> | <u>3</u> | <u>A</u> |

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Número de grano/m²:

| <u>Variable</u> | <u>N</u> | <u>R²</u> | <u>R² Aj</u> | <u>CV</u> |
|-----------------|----------|----------------------|-------------------------|-------------|
| <u>Gxm2</u> | <u>9</u> | <u>0,88</u> | <u>0,76</u> | <u>7,31</u> |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| <u>F.V.</u> | <u>SC</u> | <u>gl</u> | <u>CM</u> | <u>F</u> | <u>p-valor</u> |
|--------------|-------------------|-----------|-----------|----------|----------------|
| Modelo | 1596412,88 | 4 | 399103,22 | 7,42 | 0,0390 |
| Tratamiento | 828788,48 | 2 | 414394,24 | 7,70 | 0,0425 |
| Bloque | 767624,40 | 2 | 383812,20 | 7,14 | 0,0479 |
| Error | 215138,69 | 4 | 53784,67 | | |
| <u>Total</u> | <u>1811551,58</u> | <u>8</u> | | | |

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=525,74196

Error: 53784,6728 gl: 4

Tratamiento Medias n

| | | | |
|------------|----------------|----------|----------|
| T | 2743,73 | 3 | A |
| PS | 3376,83 | 3 | B |
| <u>PSU</u> | <u>3397,60</u> | <u>3</u> | <u>B</u> |

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=525,74196

Error: 53784,6728 gl: 4

Bloque Medias n

| | | | |
|---|---------|---|-----|
| 1 | 2814,93 | 3 | A |
| 2 | 3172,93 | 3 | A B |

3 3530,30 3 B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Peso de mil granos:

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------|---|----------------|-------------------|------|
| peso 1000 | 9 | 0,74 | 0,47 | 3,92 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|--------|----|--------|------|---------|
| Modelo | 413,78 | 4 | 103,44 | 2,79 | 0,1723 |
| Tratamiento | 324,22 | 2 | 162,11 | 4,37 | 0,0986 |
| Bloque | 89,56 | 2 | 44,78 | 1,21 | 0,3890 |
| Error | 148,44 | 4 | 37,11 | | |
| Total | 562,22 | 8 | | | |

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=13,81005

Error: 37,1111 gl: 4

| Tratamiento | Medias n | | |
|-------------|----------|---|-----|
| T | 147,33 | 3 | A |
| PS | 157,33 | 3 | A B |
| PSU | 161,67 | 3 | B |

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=13,81005

Error: 37,1111 gl: 4

| Bloque | Medias n | | |
|--------|----------|---|---|
| 3 | 151,00 | 3 | A |
| 2 | 157,33 | 3 | A |
| 1 | 158,00 | 3 | A |

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Rendimiento:

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-------------|---|----------------|-------------------|-------|
| Rendimiento | 9 | 0,82 | 0,65 | 10,54 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|--------|----|--------|------|---------|
| Modelo | 505,57 | 4 | 126,39 | 4,67 | 0,0824 |

| | | | | | |
|--------------|---------------|----------|--------|------|--------|
| Tratamiento | 377,33 | 2 | 188,66 | 6,97 | 0,0498 |
| Bloque | 128,25 | 2 | 64,12 | 2,37 | 0,2097 |
| Error | 108,35 | 4 | 27,09 | | |
| <u>Total</u> | <u>613,92</u> | <u>8</u> | | | |

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,79835

Error: 27,0867 gl: 4

| <u>Tratamiento</u> | <u>Medias</u> | <u>n</u> | |
|--------------------|---------------|----------|----------|
| T | 40,30 | 3 | A |
| PS | 53,07 | 3 | B |
| <u>PSU</u> | <u>54,83</u> | <u>3</u> | <u>B</u> |

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,79835

Error: 27,0867 gl: 4

| <u>Bloque</u> | <u>Medias</u> | <u>n</u> | |
|---------------|---------------|----------|----------|
| 1 | 44,47 | 3 | A |
| 2 | 50,10 | 3 | A |
| <u>3</u> | <u>53,63</u> | <u>3</u> | <u>A</u> |

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ALBRECHT, R., H. VIVAS y H. FONTANETTO. 2000. Residualidad del fósforo y del azufre en soja sobre dos secuencias de cultivos. Campaña 1999/2000. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela; Centro Regional Santa Fe. Publicación Miscelánea, 93 (6) 1-5.
- AMBROGIO, M., S. LORANZATTI, H. BIZET, H. DON, W. TANDUCCI, F. GARCÍA y H. FONTANETTO. 2000. Explorando deficiencias nutricionales en la región pampeana. Resultados de los ensayos de fertilización, 5, 1-14.
- ANDRADE, F.H., H.E. ECHEVARRÍA, N.S. GONZALEZ y S.A. UHART. 2000. Requerimientos de nutrientes minerales. F. Andrade y V. Sadras. (Eds.) En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. pp-207-233. Balcarce: Fac. Agronomía UBA.
- ANDRIANI, J.M., F.H. ANDRADE, EE. SUERO, y D. ARDANELLI. 1991. Water deficit during reproductive growth of soybeans. I. Their effects on dry matter accumulations seed yield and its components. II: 737-746.
- AVELLANEDA, J., A. AVELLANEDA, L. CABALLERO y F. GARCÍA. 1999. Ensayo de fertilización de soja Establecimiento "San Marcelo", Teodelina (Santa Fe) - Campaña 1998/99. En: Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilización de Soja".
- BALLONE, C. 2000. Fijación biológica del nitrógeno atmosférico de las leguminosas. Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán, Argentina.
- BARBAGELATA, P., R. MELCHIORI y O. PAPAROTTI. 2002. Phosphorus fertilization of soybeans in clay soils of Entre Ríos province. 16 (1):3-5.
- BERARDO, A. 2003. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. En: Simposio "El Fósforo en la Agricultura Argentina". INPOFOS Cono Sur. 8-9/5/2003 Rosario. Pp 38-44.
- BIANCHINI, A. 2003. Localización de fósforo en siembra directa. En: II Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa. XI Congreso Nacional de AAPRESID. Tomo 2. pp 309-314.
- BODRERO, M., R. MARTIGNONE y L. MACOR. 1984. Efecto de la fertilización nitrogenada en soja. Ciencia del Suelo 2:212-214.
- CORDONE, G y F. MARTÍNEZ. 1998. Fertilización azufrada en soja. En: Fertilización azufrada en soja. Cuadernillo de soja. Revista Agromercado. Buenos Aires. Argentina.

- CORDONE, G.E., F. MARTÍNEZ y R.F. ABRATE. 2001. Fertilización azufrada de cultivos extensivos en el centro-sur de la provincia de Santa Fe (Argentina). XV, Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Varadero, Cuba, 11-16 de noviembre.
- COSTILLA, D., S. RADOVANCICH, H. FONTANETTO, G. ALMADA, E. L'EPISCOPO, H. BIZET y S. BARBERIS. 2004. Respuestas productivas a la inoculación y su interacción con la fertilidad química en el cultivo de soja en siembra directa. En: www.rizobacter.com.ar/home/es/ensayos/. Consultado: 15/11/04.
- DÍAZ ZORITA, M., F. GARCÍA y R. MELGAR (coord.). 2002. Fertilización en soja y trigo-soja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. Boletín Proyecto Fertilizar. EEA INTA Pergamino. 44.
- DÍAZ ZORITA, M. 2003. Soja: criterios para el manejo de la fertilización del cultivo. En E. Satorre (ed.). El Libro de la Soja. SEMA. Buenos Aires, Argentina.
- FEHR, W. y C. CAVINESS. 1977. Stages of soybean development. Spec. Report No. 80. Coop. Ext. Ser., Iowa State University. Ames, Iowa, EE.UU.
- FERTILIZAR. 2004. Fertilización del cultivo de soja. Extraído el 8 de agosto de 2004 de http://www.agrobit.com.ar/Info_tecnica/agricultura/fertilizacion/AG_000001fe.htm.
- FONTANETTO, H., M. DÍAZ-ZORITA y VIVAS. 2004. Efecto de la inoculación y fertilización con fósforo y azufre sobre los rendimientos de soja.
- GARCÍA, F. 2000. Requerimientos nutricionales de los cultivos. Fertilidad 2000. INPOFOS. Pp. 40-43.
- GARCÍA, F., H. FONTANETTO y H. VIVAS. 2001. La fertilización del doble cultivo trigo/soja. INPOFOS. Buenos Aires, Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 10:14-17.
- GARCÍA, F. 2003. El manejo de fósforo en la producción de trigo y maíz. En Simposio "El Fósforo en la Agricultura Argentina". INPOFOS Cono Sur. 8-9/5/2003 Rosario.
- GUTIERREZ, B. 2001. Leaf area development in soybean as affected by phosphorus nutrition and water deficit. Journal of Plant Nutrition 24: 1711-1729.
- INFOSTAT. 2007. Software estadístico aplicado para el análisis de los resultados.
- INPOFOS, Cono Sur. 2003. Criterio para la fertilización del cultivo de soja. Extraído el día 30 de enero del 2004 de www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf.
- KANTOLOIC, A., G. GIMENES, E. De LA FUENTE. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. En: Satorre, E. et al Producción de Cultivos de Granos: Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía. Cap.: 9. p: 167-201.
- LEFFEL, R.C. 1988. High protein lines and chemical constituent pricing in soybean. J. Prod. Agric. 1:111-115.

- LETT, L., G. PORTELA, J. RESSIA, G. MENDIVIL, L. LAZARO, R. BALBUENA y A. PERTICARI. 1999. "Nodulación y rendimiento de soja en relación a diferentes alternativas de manejo cultural". II Reunión Científico Técnica de Biología del suelo. Catamarca 6-8 de Julio de 1999. Pp. 313-316.
- MENGEL, D. 1987. Soil fertility and Living. En Wilcox J. J. (Ed). Soybean improvement, production and uses. Second Ed Agronomy No 16. ASA, CSSA, SSSA. Madison, Wisconsin, USA. Pp. 461-496.
- MELGAR, R., E. FRUTOS, M. GALETTO y H. VIVAS. 1995. El análisis de suelos como predictor de la respuesta de la soja a la fertilización fosfatada. 1er. Congreso Nacional de Sojay 2da. Reunión Nacional de Oleaginosas. AIANBA. Pergamino. Tomo 1. Pp. 167-174.
- MELGAR, R., y J. LAVANDERA. 1999. Resultados de los ensayos de fertilización en soja. Campaña 1998/99. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilización de Soja". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. Pp. 39.
- MONTOYA, J., A.A. BONO, A. SUAREZ, N. DARWICH, y F. BABINEC. 1999. Cambios en el contenido de fósforo asimilable en los suelos del este de la Provincia de la Pampa. Ciencia del Suelo 17. Pp. 45-48.
- OLEAGINOSAS. 2008. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de la soya. Extraído el 30 de junio de 2008 de http://www.oleaginosas.org/impr_222.shtml.
- PARRA, R. 1997. Fertilización fosfatada en el cultivo de soja y residualidad en una secuencia de cultivos en el norte santafesino. Pub. Misc. No. 12. EEA INTA Reconquista. Santa Fe, Argentina.
- PETERSON, G., A. SANDER, D. H. GRABOUSKY, P. H. and M. L. HOOKER. 1981. A new look at row and broadcast phosphate recommendation. Agronomy Journal. 73: 13-17.
- SÁNCHEZ, H. y R. M. LIZONDO. 1999. Respuesta de la soja a la fertilización fosfatada en el área de granos de la Provincia de Tucumán. Mercosoja, 99. Pp 1-7.
- SCHEINER, J., B. GUTIÉRREZ y R. LAVADO. 1999. Experiencias de fertilización de soja en el centro-norte de Buenos Aires. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilización de Soja". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. Pp 39.
- SIMS, J.T. 2000. Soil fertility evaluation. En Handbook of Soil Science. M. E. Sumner (ed.). CRC Press.
- STEVENSON, F.J. 1986. Cycles of Soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulphur, Micronutrients. A Wiley-Interscience Publicatipon. John Wiley and Sons. 380 p.

- SYVERUD, T.D., L.M. WALSH, E.S. OPLINGER, K.A. KELLING. 1980. Foliar fertilization of soybeans (*Glycine Max* L.). Commun. In soil science and plant analysis, 11 (6), 637-651.
- TISDALE, S., W. NELSON, J. BEATON y J. HAVLIN. 1993. Soil fertility and fertilizers. Mac Millan Pub. Co. New York, EEUU. Pp 1-7.
- VASILAS, B. R., NELSON, J. FUHRMANN y T. EVANS. 1995. Relationship of nitrogen utilization patterns with soybean yield and seed-fill period. Crop Sci. 35:809-813.
- VÁZQUEZ, M.E. 2002. Balance y fertilidad fosforada en suelos productivos de la Región Pampeana. INPOFOS. Buenos Aires, Argentina. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, 10:3-7.
- VENTIMIGLIA, L., H. CARTA, y S. RILLO. 1999. Fertilización foliar nitrogenada complementaria. Agromercado. Cuadernillo de soja nº 40, Pp. 78-80.
- VIVAS, H. 1999. Residualidad de la fertilización fosfatada y su influencia en la producción de soja y en la rotación. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilización de Soja". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. Pp 39.
- WESLEY, T., R. LAMOND, V. MARTÍN y S. DUNCAN. 1998. Effects of late season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. Journal of Production Agriculture. 11. Pp 331-336.
- ZAPATA, F., S. DANSO, G. HARDARSON y M. FRIED. 1987. Time course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. Agronomy. Journal. 79: Pp 173 -176.