

# **SOJA: EFECTOS DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN SOBRE SUS RENDIMIENTOS, EL BALANCE DE NUTRIENTES Y SU DISPONIBILIDAD EN LOS SUELOS.**

ENSAYO DE LARGA DURACIÓN EN LA SECUENCIA MAÍZ – SOJA - CEBADA/SOJA - TRIGO/SOJA.

ARRIBEÑOS, PARTIDO DE GENERAL ARENALES

**Campaña 2007/08**

Ings. Agrs Gustavo N. Ferraris y Lucrecia Couretot  
Desarrollo Rural INTA Pergamino

Ing Agr. Mirta Toribio  
Profertil S.A. Investigación y Desarrollo

Ing. Agr. Ricardo Falconi  
El Ceibo Cereales S.A.

## **INTRODUCCIÓN**

El nitrógeno (N) es el principal elemento requerido para la producción de los cultivos de grano sembrados en la Región Pampeana Argentina. Deficiencias de este elemento reducen la expansión foliar, provocan su prematura senescencia y afectan la tasa fotosintética, dando como resultado una menor producción de materia seca y grano. Por otra parte, la disponibilidad de N afecta su concentración en el grano, interviniendo así en la determinación del contenido proteico, parámetro principal para definir la calidad comercial del grano cosechado. La incidencia del N sobre los dos factores, rendimiento y contenido de proteína, hacen que su manejo sea estratégico para la producción de todos los cultivo.

Por otra parte, las estrategias de fertilización con fósforo (P) implementadas en Argentina han determinado un balance claramente negativo, por el retiro de cantidades importantes con los granos que no eran repuestas al sistema. Por este motivo, desde principios de la década del '80 se han observado resultados positivos por el agregado de P en trigo, maíz y otros cultivos. Desde entonces, la disponibilidad de este nutriente en los suelos de la región ha disminuido marcadamente y, como consecuencia, en los últimos años aumentó el uso de fertilizantes fosforados. Es prioritario entonces diseñar estrategias que contemplen la reposición de las cantidades de nutrientes exportadas con los granos, y en el caso en que dichos niveles se encuentren por debajo de los umbrales críticos sugeridos, su restitución paulatina mediante fertilización. En la actualidad, el costo de los fertilizantes fosforados se ha incrementado, y las relaciones de precio producto:insumo han sufrido un deterioro. Esto lleva a la implementación de estrategias de fertilización más conservadoras, que implican una reducción en las dosis aplicadas. Sin embargo, estos criterios contemplan el análisis de la respuesta esperada en el primer año, y no los efectos derivados de una mejoría de la fertilidad a lo largo del tiempo.

Las respuestas al agregado de azufre (S) en cultivos de maíz en el sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires se han vuelto más frecuentes en las últimas campañas (Cordone et al., 2001; Pedrol et al., 2001; Thomas et al., 2001), por lo que la fertilización con este nutriente es habitual en lotes de alta producción.

A su vez, las situaciones de baja disponibilidad de N, P y S no ocurren de manera aislada, sino que se combinan de diversas maneras, por lo que es necesario evaluar la respuesta a la fertilización y conocer los cambios de los niveles de nutrientes en los suelos de manera conjunta.

Con el propósito de estudiar la evolución en el tiempo de los rendimientos, el balance de nutrientes y las propiedades químicas del suelo se diseñó un ensayo de estrategias de fertilización en la secuencia Maíz-Soja-Trigo/Soja-Cebada/Soja. En la campaña 2006/07 se inició el proyecto, siendo

maíz el primero de los cultivos implantados. Este trabajo se continuó durante la campaña 2007/08, con siembra de Soja. Los objetivos planteados durante el segundo año fueron 1. Determinar la evolución de los niveles de N, P, S, MO y pH de suelo de acuerdo con las estrategias de fertilización y los rendimientos obtenidos en el cultivo previo (Maíz). 2. Evaluar el efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento del presente cultivo (Soja) y 3. Cuantificar y valorizar el balance de nutrientes correspondiente a cada una de las estrategias.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo es conducido en la localidad de Arribeños, partido de General Arenales. Se plantea un diseño en bloques al azar, con cuatro repeticiones. Se mantendrá por un plazo mínimo de cuatro años, abarcando una rotación Maíz- Soja – Cebada/Soja de 2da. – Trigo/Soja de 2da. El inicio de la secuencia se realizó con el cultivo de Maíz.

La variedad sembrada de soja fue Nidera 4613 RG. Las estrategias de fertilización evaluadas en Soja fueron son las siguientes:

**Tabla 1:** Estrategias de fertilización evaluadas durante la campaña 2007/08. Soja. Segundo año de experiencias.

|           | <b>Criterio de fertilización</b>                              | <b>Rendimiento objetivo</b> | <b>Fósforo (P) kg/ha</b> | <b>Azufre (S) kg/ha</b> | <b>SPT (0-20-0) kg/ha</b> | <b>SC (0-0-0-18S) kg/ha</b> |
|-----------|---|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| <b>T1</b> | Testigo sin fertilización                                     |                             | 0                        | 0                       | 0                         | 0                           |
| <b>T2</b> | Tecnología Uso Actual   |                             | 16                       | 0                       | 80                        | 0                           |
| <b>T3</b> | Reposición PS<br>Rendimiento objetivo medio                   | 3800                        | 22                       | 12                      | 110                       | 68                          |
| <b>T4</b> | Reposición PS<br>Rendimiento objetivo alto                    | 4500                        | 26                       | 15                      | 131                       | 81                          |
| <b>T5</b> | Reposición S<br>Reconstrucción P<br>Rendimiento objetivo alto | 4500                        | 42                       | 15                      | 211                       | 81                          |

Los fertilizantes fosforados y azufrados se aplicaron al voleo al momento de la siembra. Como fuentes se utilizaron Superfosfato triple de calcio (0-20-0) y Sulfato de calcio (0-0-0-18S).

## Determinaciones realizadas

### En el suelo

Previo a la siembra se obtuvieron muestras de suelo de 0 a 20 cm. De cada parcela, en cada uno de los bloques, se extrajo una muestra compuesta. En la muestra de 0 a 20 cm de profundidad se determinó el pH y los contenidos de materia orgánica (MO), P disponible (Bray I), N total, N-nitratos y S-sulfatos.

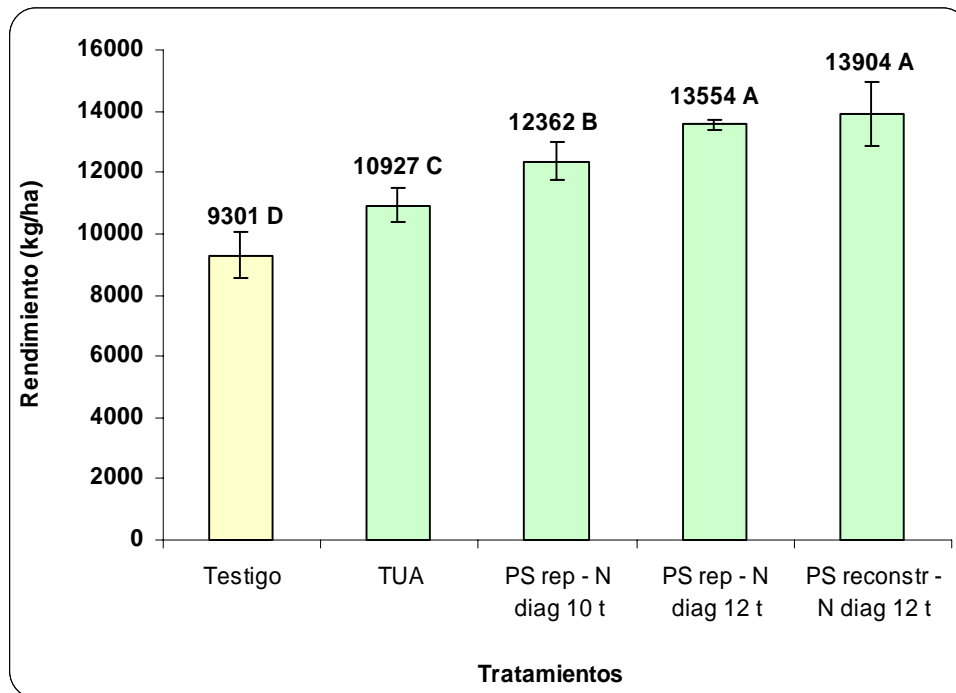
### En el cultivo

A cosecha se evaluó el rendimiento y sus componentes, número y peso de los granos. En una muestra de grano de cada parcela se cuantificó el contenido de N, P y S. Con los datos de rendimiento, concentración de nutrientes en grano y dosis aplicada de los mismos se realizó un balance de nutrientes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. Rendimientos de maíz y su efecto sobre el balance de nutrientes y las propiedades químicas del suelo.

En el cultivo de maíz implantado durante la campaña 2007/08 se determinaron diferencias significativas entre tratamientos en los rendimientos de grano ( $P=0,00$ ; Figura 1). Los tratamientos de máxima dosis de N alcanzaron los mayores niveles de productividad, no difiriendo significativamente entre sí, aún cuando el tratamiento de reconstrucción de P alcanzara una producción de  $350 \text{ kg ha}^{-1}$  por sobre el de mantenimiento.



**Figura 1:** Rendimiento de grano de diferentes estrategias de fertilización. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos. Las barras verticales representan la desviación Standard de la media. Arribeños, General Arenales. Campaña 2006/07.

A partir de las dosis de NPS agregadas, y la extracción de nutrientes cuantificada en base a los rendimientos y la concentración de nutrientes en grano, se puede establecer el balance de nutrientes (Tabla 2).

**Tabla 2:** Balance de nitrógeno, fósforo y azufre ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para los diferentes tratamientos. Los datos de rendimiento y concentración de nutrientes en grano fueron ajustados a 13 % de humedad.

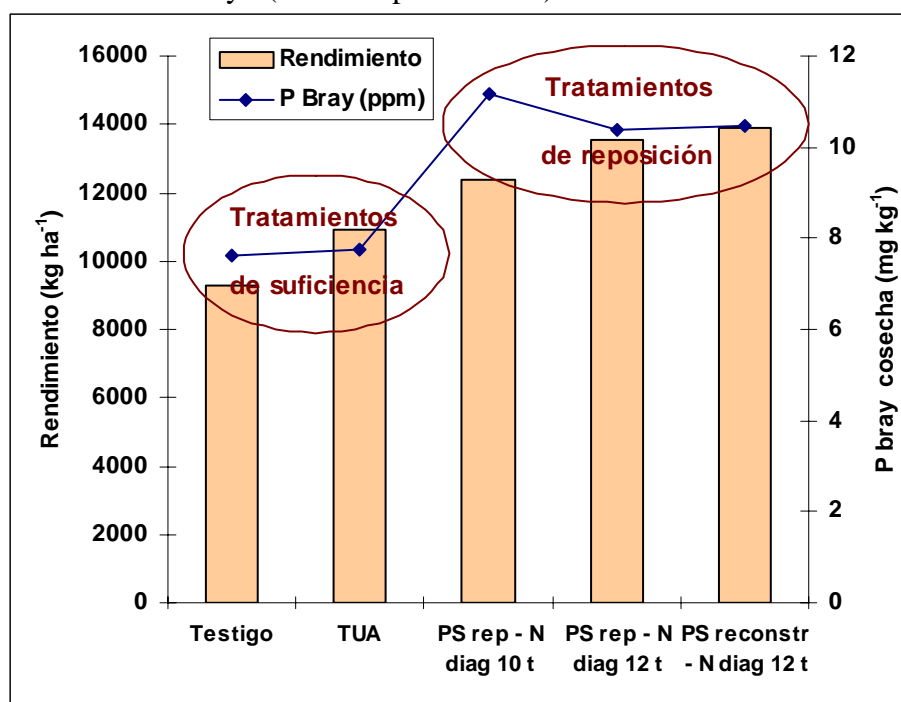
| Tratamiento                  | Agregado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) |    |    | Extracción ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) |    |     | Balance ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) |       |      |
|------------------------------|----------------------------------|----|----|------------------------------------|----|-----|---------------------------------|-------|------|
|                              | N                                | P  | S  | N                                  | P  | S   | N                               | P     | S    |
| T1 Testigo                   | 0                                | 0  | 0  | 82                                 | 23 | 6,5 | -81,9                           | -22,7 | -6,5 |
| T2 TUA                       | 46                               | 16 | 46 | 102                                | 27 | 6,4 | -56,2                           | -10,9 | -6,4 |
| T3 PS rep - N diag 10 t      | 69                               | 30 | 69 | 115                                | 26 | 8,3 | -46,3                           | 3,6   | 9,7  |
| T4 PS rep - N diag 12 t      | 89                               | 36 | 89 | 138                                | 28 | 9,1 | -49,0                           | 8,3   | 12,9 |
| T5 PS reconstr - N diag 12 t | 89                               | 52 | 89 | 154                                | 34 | 9,7 | -65,2                           | 18,4  | 12,3 |

Luego de la cosecha de maíz y previo a la siembra de soja se realizó un análisis completo de suelo por parcela, cuyos datos promediados se consignan en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Análisis de suelo (0-20 cm) al momento de la siembra. Los datos son promedio de cuatro repeticiones.

| Tratamiento | MO (%) | pH  | Ntotal (%) | N-NO3 (mg kg <sup>-1</sup> ) | P (mg kg <sup>-1</sup> ) | S-SO4 (mg kg <sup>-1</sup> ) |
|-------------|--------|-----|------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| T1          | 2,66   | 5,8 | 0,133      | 5,6                          | 7,6                      | 9,6                          |
| T2          | 2,64   | 5,6 | 0,133      | 6,7                          | 7,8                      | 9,1                          |
| T3          | 2,83   | 5,7 | 0,142      | 7,0                          | 11,2                     | 8,2                          |
| T4          | 2,72   | 5,6 | 0,136      | 6,2                          | 10,4                     | 9,4                          |
| T5          | 2,53   | 5,6 | 0,127      | 9,2                          | 10,5                     | 10,0                         |

El P es el nutriente en el que, a causa de su baja movilidad, es más fácil cuantificar cambios en su concentración asociados a procesos de ganancia o empobrecimiento en el suelo. Luego de un año de experimentos, los tratamientos de reposición (T3, T4, T5) presentaron un mayor nivel de P en suelo con relación a los tratamientos de suficiencia (Figura 2). Los rendimientos no se asociaron al nivel de N, S, pH y MO a la cosecha del ensayo (datos no presentados).



**Figura 2:** Rendimiento de grano y nivel de P al final del experimento –nivel inicial 8,5 mg kg<sup>-1</sup>- para estrategias de fertilización basadas en un criterio de suficiencia o reposición de nutrientes. Cultivo de Maíz. Arribeños, General Arenales. Campaña 2006/.

En el presente experimento, se logró ajustar una relación entre el nivel de P disponible (Bray 1, 0-20 cm) y el balance de P generado en los diversos tratamientos (Figura 3.a). La inversa de la pendiente de este modelo, representa la dosis de P necesaria para elevar la disponibilidad del nutriente en una unidad. Conforme a la función ajustada, sería necesario agregar 10,7 kg P ha<sup>-1</sup> para incrementar su nivel en el suelo en 1 mg kg<sup>-1</sup>. Si bien el ajuste no es demasiado alto, el mismo se incrementa considerablemente si en lugar de los datos parcelarios se utilizan los valores medios de cada tratamiento (Figura 3.b), sin modificar sustancialmente los parámetros del modelo.

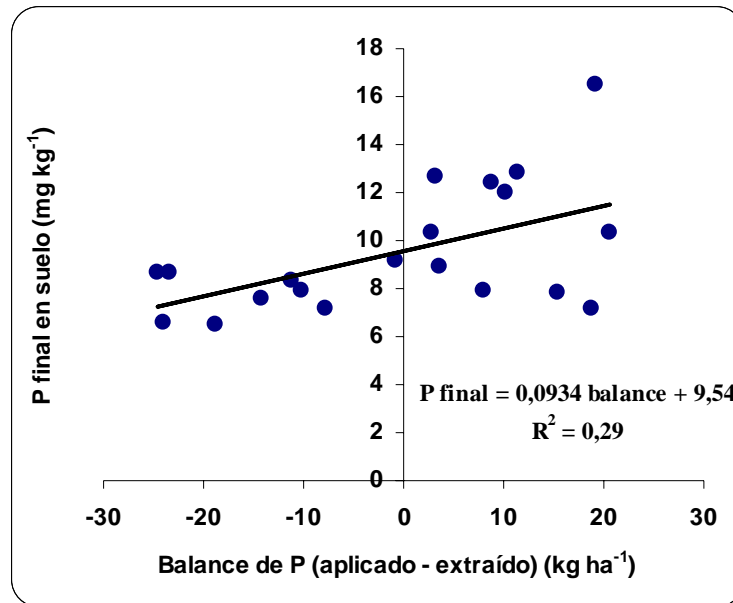


Figura 3.a

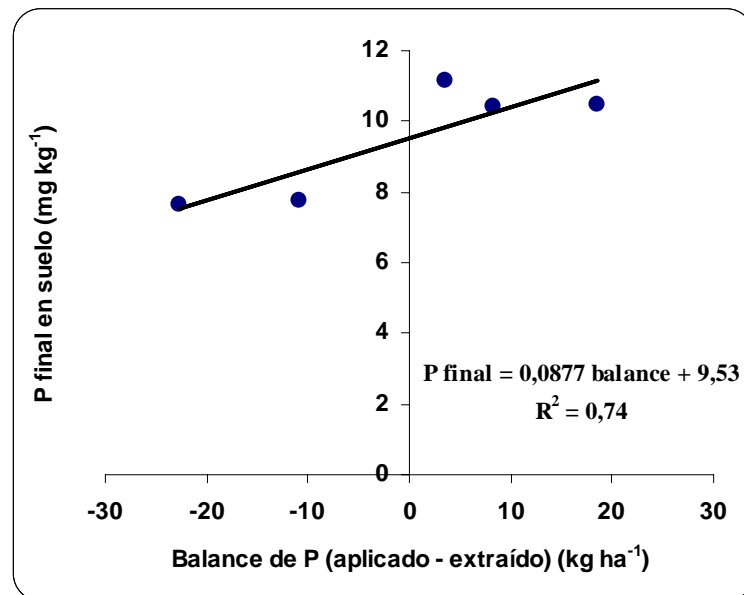
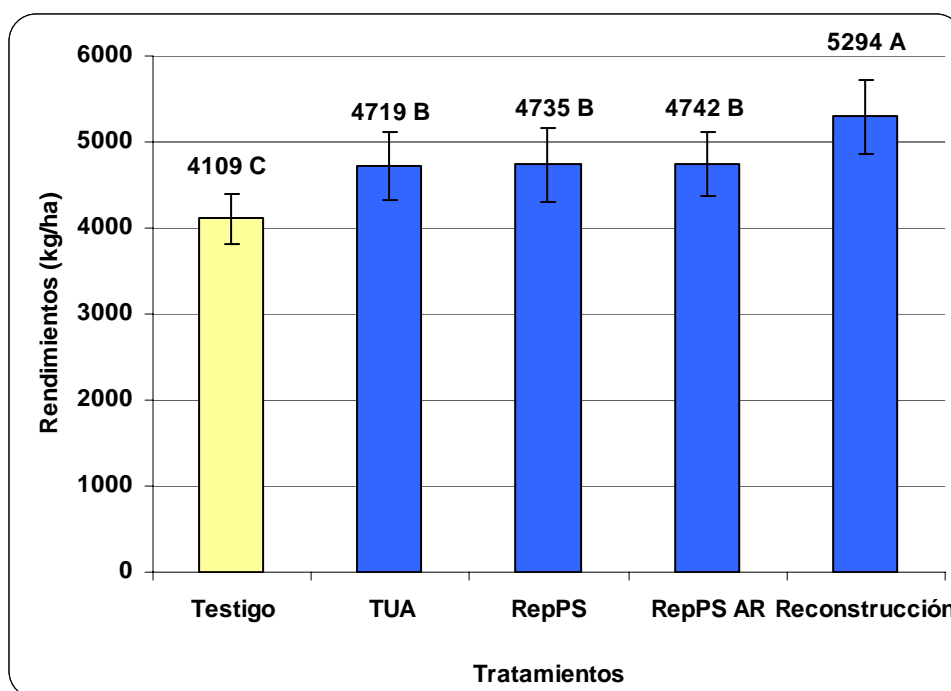


Figura 3.b

**Figura 3:** Relación entre el nivel de P en suelo a cosecha ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) y el balance de P (aplicado-extraído en  $\text{kg ha}^{-1}$ ) utilizando a) datos parcelarios o b) los valores medios para cada tratamiento.

### B. Rendimientos de soja.

Se determinaron diferencias significativas en los rendimientos de soja ( $P=0,00$ ;  $CV= 6,1 \%$ ). El tratamiento de máxima (T5, reconstrucción de P) superó significativamente al resto de los tratamientos fertilizados y, a la vez, estos superaron al testigo (Figura 4).



**Figura 4:** Rendimiento de soja como resultado de diferentes estrategias de fertilización. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos. Las barras verticales representan la desviación Standard de la media. Arribeños, General Arenales. Campaña 2007/08.

Las diferencias de rendimiento entre el tratamiento de máxima fertilización y el testigo alcanzaron a un 49 % en maíz y un 29 % en soja. Evidentemente, aquel cultivo es más sensible que este a deficiencias nutricionales intensas. Esto se debería, al menos es parte, a que la soja es capaz de proveerse de N por el mecanismo de fijación biológica. Las diferencias en soja serían atribuibles así, al efecto residual y directo del P y S aportados al antecesor maíz y a la soja del presente año, respectivamente. A la vez, es esperable una mejora en las propiedades físicas y biológicas en los mejores tratamientos, así como en la disponibilidad de otros nutrientes no monitoreados en esta experiencia, como consecuencia de los mayores niveles de crecimiento aéreo y radicular, y el superior aporte de residuos derivados de un tratamiento con mejores rendimientos.

### CONSIDERACIONES FINALES

- \* Las estrategias de fertilización efectuadas en maíz, además de impactar en los rendimientos, modificaron el balance de nutrientes y se correlacionaron con los niveles finales de P en suelo.
- \* Estrategias de suficiencia, reposición o reconstrucción de P generan cambios previsible de su disponibilidad en el suelo. Durante el primer año de este experimento, la tasa de cambio fue de 1 mg kg<sup>-1</sup> de P Bray (0-20 cm) por cada 10,7 kg Pha<sup>-1</sup> de diferencia entre agregado y extracción.
- \* El cultivo de soja experimentó incrementos en los rendimientos como resultado directo y residual de las estrategias de fertilización. La magnitud de las diferencias alcanzadas en el tratamiento de máxima es difícilmente alcanzable por efecto de la fertilización en el mismo año, y reflejan los beneficios del remanente de nutrientes aplicado en el año anterior y la mejoría del ambiente producto de mayores rendimientos.