

Respuestas a fertilización y roturación en soja en Santa Cruz de la Sierra (Bolivia)

Edwin Parra Flores

Centro de Investigación y Transferencia de la Caña de Azúcar (CITTCA)
General Saavedra, Provincia Obispo Santistevan del Departamento Santa Cruz-Bolivia
epaflores_agr@hotmail.com

Introducción

La actividad agrícola de Santa Cruz-Bolivia, ha estado caracterizada por una explotación extractiva de minerales del suelo. La extracción permanente de minerales ha originado la pérdida de nutrientes del suelo provocando deficiencias y desequilibrios nutricionales para las plantas y, en consecuencia, la obtención de rendimientos muy limitados de los cultivos. En general, la práctica del monocultivo, la acelerada descomposición de la materia orgánica, la baja producción de rastrojos y la no reposición de nutrientes mediante la fertilización han contribuido al deterioro de la fertilidad del suelo.

El presente trabajo de investigación se desarrolló con el objetivo de determinar la respuesta a la aplicación de fertilizantes químicos, en presencia y ausencia de prácticas de ruptura sub-superficial de un suelo compactado bajo siembra directa. Esta situación, representa a un suelo típico del área Integral tradicional, que ha sido usado por más de 4 décadas bajo sistemas intensivos de labranza convencional.

Materiales y métodos

Este experimento se estableció en el Lote F-2 de la Estación Experimental Agrícola de Saavedra (EEAS) dependiente del Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT), ubicado en la Provincia Obispo Santistevan del Departamento de Santa Cruz (Bolivia), a 75 Km. al Norte de la ciudad capital. Geográficamente se sitúa entre las coordenadas 17°14' de latitud Sur y 63°10' de longitud Oeste, a una altitud de 320 m.s.n.m.

El suelo es de textura franco arenoso y de baja fertilidad, típico de la zona central de Santa Cruz. La historia agrícola del suelo donde se realizó el experimento fue la siguiente: desmontado en la década del 50 y desde entonces utilizado con cultivos de caña de azúcar, arroz, soja y maíz. Durante el periodo comprendido entre 1984 a 1993 se cultivó soja, posteriormente estuvo en descanso, con cultivos de cobertura. A partir del año 2000 nuevamente fue utilizado en la producción del cultivo de soja. Las características químicas del suelo en estudio, se presentan en la Tabla 1.

El diseño experimental utilizado fue un diseño de bloques completamente aleatorizados para el factor A (Fertilización) y el factor B (Roturación del suelo con paratill) como parcelas divididas en el factor A. Los tratamientos evaluados del factor fertilización fueron: 1) Aplicación de Fósforo (P), 2) P + Azufre (S), 3) P + S + Potasio (K), 4) P + S + K + Micronutrientes (Completo) y, por último, 5) Testigo Absoluto. El factor roturación

presentó dos niveles: 1) labor del paratill y 2) sin laboreo. El número de repeticiones fue de cuatro.

Con respecto al tipo de fertilizantes, como fuente de P fue utilizado el Súper Fosfato Triple que tiene una concentración de 46 % de P_2O_5 ; como fuente de azufre, el Azufre Elemental que tiene 98 % de S elemento y como fuente de K, el Cloruro de K, 60 % de K_2O elemento. Las dosis utilizadas para cada tratamiento se presentan en la Tabla 2.

La labor del paratill se realizó en el mes de julio en el año 2003 y se sembró la soja (Variedad Aguaí) en el mes de Noviembre de ese mismo año. La práctica cultural se realizó a una profundidad de 23 a 25 cm y una distancia de 40 cm de cincel a cincel. Para realizar la práctica de roturación del suelo, se utilizaron púas de un implemento vertical (paratill) que se acopló en el armazón de un cuerpo de labranza vertical (Vibroflox) con solamente dos púas. El trabajo de campo se realizó a una distancia de 40 cm, con una sola pasada cuando el suelo estaba en un estado casi seco.

El contenido foliar de nutrientes en soja, en el periodo de floración, se presenta en la Tabla 3. El contenido de nitrógeno (N) foliar de la soja varió de 4.5% en el tratamiento Testigo, a 4.98% en el tratamiento de fertilización con P. Si bien estos valores se encuentran dentro de una concentración normal, de

Tabla 1. Características químicas del suelo en el estudio. Fuente: Laboratorio del Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT)

| Características | Profundidad (cm) | |
|---------------------------------|------------------|----------------|
| | 0-5 | 5-15 |
| pH (agua 1:5) | 5.3 | 4.8 |
| CE (μ mhos/cm) | 155 | 113 |
| Calcio ($cmol\ kg^{-1}$) | 2.3 | 1.9 |
| Magnesio ($cmol\ kg^{-1}$) | 0.8 | 0.7 |
| Sodio ($cmol\ kg^{-1}$) | 0.1 | 0.1 |
| Potasio ($cmol\ kg^{-1}$) | 0.3 | 0.2 |
| C.I.C.E. | 4.9 | 3.3 |
| Acidez ($cmol\ kg^{-1}$) | 0.2 | 0.3 |
| Aluminio ($cmol\ kg^{-1}$) | 0.0 | 0.0 |
| Fósforo Olsen ($mg\ kg^{-1}$) | 7.0 | 6.0 |
| Materia Orgánica (%) | 1.9 | 1.5 |
| Limo % | 24.0 | 27.0 |
| Arcilla % | 17.0 | 18.0 |
| Arena % | 59.0 | 55.0 |
| Textura | Franco Arenoso | Franco Arenoso |

acuerdo a la tabla de interpretación del análisis foliar para el cultivo de soja, los tratamientos de fertilización no favorecieron a incrementar significativamente la concentración de N a nivel foliar. El tratamiento que presentaba únicamente P provocó un incremento mayor a 10% en el contenido de N foliar de la soja; sin embargo, este resultado no fue consistente en los otros tratamientos con P.

Con relación a la absorción de P, todos los tratamientos de fertilización presentan valores absolutos superiores al Testigo. Fue observada una diferencia de 22.7% entre el Testigo y el tratamiento de fertilización con 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Como era de esperar, fueron observados similares incrementos en los otros tratamientos de fertilización con P, aunque las aplicaciones de S, K y micronutrientes no mostraron un efecto favorable en la acumulación de este elemento a nivel foliar. De acuerdo a los valores de promedios de P absorbido por las hojas se puede afirmar que el tratamiento Testigo presenta una deficiencia nutricional de este elemento y que los otros tratamientos de fertilización favorecieron a una suficiencia limitada.

Con relación a la concentración de K foliar, todos los tratamientos de fertilización presentan valores superiores al Testigo. El valor más alto (2.18 %) fue observado en los tratamientos de fertilización con P y de

P+S+K+Micro. En todos los tratamientos el contenido de K foliar, se encuentra dentro del rango considerado como un contenido óptimo para el cultivo.

La acumulación de Calcio y Magnesio no fue afectada significativamente por los tratamientos de fertilización. Los valores absolutos muestran ligeras variaciones, las mismas no son consistentes y tampoco favorecen a los tratamientos estudiados.

En relación a la concentración de S, es importante destacar que todas las parcelas que recibieron este elemento, muestran una absorción marcadamente diferente a la del Testigo aunque la concentraciones de S a nivel foliar, en todos los tratamientos se encuentre dentro del rango de suficiencia (0.32-0.39%). En relación a la concentración de microelementos (Fe, Mn, Cu y Zn), fue observada poca diferenciación en función a los tratamientos de fertilización.

Los valores promedio de altura de planta registrados en cinco fechas durante la época de desarrollo vegetativo; floración y cosecha se presentan en la Figura 1. De acuerdo a los resultados del análisis estadístico, la altura de planta presentó diferencias estadísticamente significativas, entre los tratamientos de fertilización, solamente a los 46 días después de la siembra y a la cosecha. Sin embargo, en la Figura 1 se puede apreciar que en todas las evaluaciones realizadas los promedios de altura de planta siguen la misma tendencia con respecto a los tratamientos de fertilización. Asimismo, fue verificado que la roturación del suelo no modificó significativamente esta característica de la planta.

A los 46 días después de la siembra, el tratamiento Testigo presentó una altura de planta significativamente inferior al resto de los tratamientos de fertilización, los cuales no difieren estadísticamente entre sí. En promedio, las diferencias de altura de planta entre el Testigo y los tratamientos de fertilización alcanzan a un 10%. Este comportamiento demuestra claramente la deficiencia de nutrientes, principalmente de P, que este suelo presenta para el cultivo de soja. En las

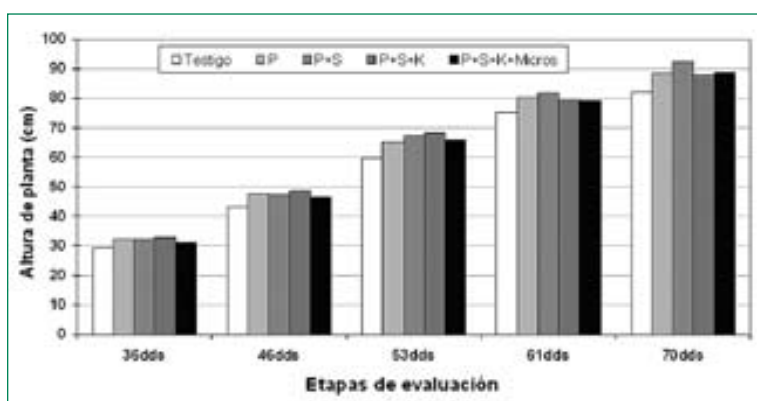


Figura 1. Altura de planta en el cultivo de la soja (*Glycine máx. L.*). dds= días desde la siembra.

Tabla 2. Dosis de fertilización utilizadas para los tratamientos evaluados.

| Tratamientos | Dosis (kg/ha) | | | |
|-------------------|-------------------------------|----|------------------|-------------------------|
| | P ₂ O ₅ | S | K ₂ O | Micros(Fe, Cu, Zn y Mn) |
| Testigo | 0 | 0 | 0 | 0 |
| P | 40 | 0 | 0 | 0 |
| P + S | 40 | 16 | 0 | 0 |
| P + S +K | 40 | 16 | 20 | 0 |
| P + S +K + Micros | 40 | 16 | 20 | 1 |

Tabla 3. Contenido foliar de nutrientes en soja, en el período de floración. Fuente: Laboratorio de Suelos – CIAT.

| Tratamientos | N | P | Na | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | Cu | Zn |
|-------------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|--------------------------|----|----|----|
| | (%) Sobre materia seca | | | | | | | (ppm) Sobre materia seca | | | |
| Testigo | 4,50 | 0,22 | 0,10 | 1,79 | 1,24 | 0,36 | 0,29 | 137 | 77 | 8 | 35 |
| P | 4,98 | 0,27 | 0,11 | 2,18 | 1,36 | 0,39 | 0,34 | 141 | 74 | 8 | 30 |
| P + S | 4,62 | 0,26 | 0,09 | 1,98 | 1,44 | 0,39 | 0,32 | 135 | 93 | 7 | 33 |
| P + S + K | 4,48 | 0,25 | 0,10 | 1,98 | 1,43 | 0,37 | 0,39 | 162 | 74 | 7 | 29 |
| P + S + K + Micro | 4,50 | 0,26 | 0,11 | 2,18 | 1,29 | 0,34 | 0,33 | 173 | 68 | 8 | 28 |

evaluaciones a los 36, 53, 61 y 70 días después de la siembra, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización. En la última lectura, en el periodo de cosecha, se pudo evidenciar que la fertilización con P favoreció significativamente al desarrollo de la planta de soja. El tratamiento con la aplicación de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fue superior en 17%, con relación al tratamiento Testigo. De acuerdo a los resultados, se puede afirmar que, en esta característica de la planta, sólo hubo respuesta a la aplicación de P y no así a la aplicación de S, K y micronutrientes.

En lo que respecta al rendimiento del grano de soja (Tabla 4), hubo diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización, pero no entre los tratamientos de roturación del suelo. Entre los cuatro tratamientos fertilizados no existen diferencias estadísticamente significativas; pero fueron verificados importantes incrementos por fertilización con respecto al rendimiento del tratamiento Testigo. El mayor incremento (33%) fue verificado en el tratamiento de P + S y P+S+K+ Microelementos.

Los rendimientos obtenidos sugieren categóricamente una respuesta positiva del cultivo de la soja a la aplicación de 40 kg de P₂O₅. Este resultado guarda estrecha relación con el efecto que tuvo este tratamiento sobre otras variables de rendimiento y de desarrollo vegetativo, como el número de vainas por planta y la altura. Por su parte, resultados de otras investigaciones han demostrado que el cultivo de la soja responde a la adición de P en suelos donde la concentración de este elemento es menor que 6 ppm P Olsen.

En relación a la falta de respuesta de la soja a la práctica de roturación del suelo podemos considerar que la práctica de la roturación con paratill se realizó en el mes de julio y la siembra de la soja fue en el mes de Noviembre, durante este periodo se registraron frecuentes lluvias y el efecto beneficioso de la roturación se fue diluyendo debido al proceso de recompactación que sufre un suelo cuando tiene baja estabilidad estructural y cuando su contenido de materia orgánica es bajo.

Con respecto a la densidad aparente, desde la primera capa de suelo (0-5 cm) se observaron ligeras diferencias al uso del paratill, con similares resultados hasta la última profundidad evaluada (15-20 cm). Si bien hay diferencias entre los tratamientos de roturación del

Tabla 4. Rendimiento y otras variables de cultivo determinadas en el ensayo.

| Tratamientos | Población Final (plantas/ha) | Vainas por planta | Peso de 100 granos (g) | Altura Inserción Primera Vaina (cm) | Rendimiento (t/ha) |
|---------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Testigo | 339.750 | 59,2 | 13,9 | 18,3 | 1,76 |
| P | 309.750 | 65,5 | 14,7 | 15,8 | 2,26 |
| P + S | 327.250 | 76,1 | 14,3 | 14,8 | 2,34 |
| P + S + K | 336.250 | 69,2 | 14,1 | 15,4 | 2,30 |
| P+S+K+Micros | 333.000 | 70,6 | 14,6 | 18,4 | 2,34 |
| Significancia Estadística | | * | n s | n s | ** |
| Con paratill | | 67,2 | 14,3 | 15,1 | 2,13 |
| Sin paratill | | 67,2 | 14,4 | 15,0 | 2,22 |
| C. V. (%) | | 13,8 | 5,4 | 9,4 | 7,8 |

suelo (Tabla 5), estas no resultaron estadísticamente significativas, según la prueba de comparación de T. Esto pudo ser probablemente debido a una falta de precisión e intensidad de muestreo, lugar de extracción de muestras y número de piques realizados.

Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- En las parcelas fertilizadas con Superfosfato y S elemental se observa una mayor concentración de P y S a nivel foliar, en relación al Testigo.
- En diferentes épocas de evaluación, se verificó una mayor altura de planta de soja en las parcelas fertilizadas con P, en relación con el Testigo.
- Se verificó un mayor número de vainas de soja variedad Aguai en todas las parcelas fertilizadas.
- Se registró un incremento de rendimiento en el grano del cultivo, por efecto de la fertilización fosfatada, en relación a la parcela no fertilizada, en un suelo con bajo contenido de P.
- No hubo respuesta en rendimiento, a la roturación subsuperficial del suelo bajo siembra directa.
- No se registró interacción entre la fertilización química y la roturación del suelo sobre el crecimiento y la producción del cultivo de soja.
- No se evidenciaron diferencias en los valores de densidad aparente con la aplicación del paratill en la profundidad de muestreo de 0 – 20 cm.

Recomendaciones

- Realizar pruebas para determinar las curvas de respuesta del cultivo de soja a la fertilización con P y determinar el nivel económico para la aplicación.
- Evaluar la práctica de roturación del suelo con paratill en siembra directa, pocos días antes de la siembra del cultivo. ■

Tabla 5. Densidad aparente y variación en profundidad del suelo, para el factor roturación.

| Densidad ap. (g cm ⁻³) | Profundidad (cm) | | | |
|------------------------------------|------------------|--------|---------|---------|
| | 0 - 5 | 5 - 10 | 10 - 15 | 15 - 20 |
| Con paratill | 1,46 | 1,55 | 1,60 | 1,65 |
| Sin Paratill | 1,47 | 1,65 | 1,62 | 1,67 |
| Sig. Estadística | ns | ns | ns | ns |