

---

## EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE NIVELES DE FOSFORO Y POTASIO EN EL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE LA SOJA *Glycine max L. Merr*<sup>1</sup>

---

Aguirre Ovelar, C<sup>2</sup>; Klaner, V<sup>3</sup> y Centurión González, C<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Parte de la tesis presentada en la Facultad Ciencias de la Producción – UNCA. Carrera Ingeniería Agronómica.

<sup>2</sup> Ing. Agr. egresado de la Carrera Ingeniería Agronómica. FCP – UNCA. Filial Caaguazú

<sup>3</sup> Prof. Ing. Agr. Docente tutor, Facultad Ciencias de la Producción – UNCA. Filial Caaguazú

<sup>4</sup> Prof. Dr. Docente tutor, Facultad Ciencias de la Producción – UNCA. Filial Caaguazú

\*Autor por correspondencia: carlos.aguirre574@fcpunk.edu.py

### RESUMEN

La producción de soja constituye el principal cultivo agrícola de importancia económica en el Paraguay, por tal motivo se desarrolló un trabajo de investigación que tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de los niveles de fosforo y potasio en el suelo y su relación con el rendimiento del cultivo de la soja *Glycine Max L. Merr*. Este trabajo se realizó en el distrito de Repatriación, Departamento de Caaguazú, entre los meses de diciembre de 2021 hasta abril de 2022. Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones, totalizando 20 unidades experimentales. Los tratamientos fueron: T1 (Testigo), T2 (32 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 132 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), T3 (140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), T4 (120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 75 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) y T5 (100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 37,5 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). Las variables evaluadas consistieron en: niveles de fosforo y potasio en el suelo, rendimiento del cultivo en kg ha<sup>-1</sup> e índice de rentabilidad. Según los resultados tenores de fosforo y potasio, registraron valores más altos con T3 arrojando un nivel de 34.81 mg dm<sup>-3</sup> de P y 0,28 Cmol. dm<sup>-3</sup> de K respectivamente. Así mismo, se encontró diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de la soja, dando un promedio de 3547,50 kg ha<sup>-1</sup> con el tratamiento T3. Para el análisis económico, los tratamientos T4 y T5 fueron superiores a los demás con 0,5 y 0,6 IB. En conclusión, se obtuvo buenos resultados en cuanto a la corrección de los niveles críticos de P y K en el suelo con la aplicación de dosis creciente de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O kg ha<sup>-1</sup>, además el cultivo respondió eficientemente a la fertilización.

**PALABRAS CLAVE:** aplicación, nivel crítico, planta, respuesta, tenores.

### INTRODUCCIÓN

La producción de soja constituye el principal cultivo agrícola de importancia económica en el Paraguay siendo el octavo mayor productor y el sexto exportador del mundo (CAPECO 2022), este hecho obliga a incrementar los niveles de producción, principalmente el rendimiento para obtener granos de calidad y cantidad óptima. Sin embargo, existe una realidad en el campo la cual hace referencia al predominio de los suelos con niveles altos de acidez, toxicidad de aluminio y baja disponibilidad de nutrientes que limitan el crecimiento de los cultivos, propiciando baja productividad (Duarte 2019).

En este contexto, el fósforo y el potasio son dos elementos altamente demandados por los cultivos (Quiñones 2019), siendo la soja un cultivo muy exigente, por lo que se requieren altos niveles de fertilización fosfatada y potásica para suplir su demanda en la planta (Barreto 2008).

En este sentido, la fertilización es una práctica agrícola realizada con el propósito de satisfacer las necesidades nutricionales de la planta, además de corregir los tenores de P y K en el suelo mejorando la eficiencia del uso de los fertilizantes. Por su parte Britos *et al* (2012) señala que es necesario aplicar suficiente cantidad de fertilizante P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O para nutrir a la planta y elevar los niveles de los elementos esenciales del suelo.

Atendiendo a lo anterior, esta investigación fue realizada con el propósito de determinar la respuesta del cultivo de soja, mediante la fertilización correctiva.

### METODOLOGIA

El experimento se realizó en la Compañía 3ra Línea Caballero Álvarez en el distrito de Repatriación, Departamento de Caaguazú, específicamente distante a 30 km del distrito de Caaguazú.

Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones, totalizando 20 unidades experimentales, conformado por 5 hileras de soja variedad Nidera 5619 RG con 5 m de longitud, espaciadas entre si 0,50 m, promediando 15 plantas por metro. La superficie total equivalente a 552m<sup>2</sup>

Previo a la siembra se efectuó la fertilización básica en surcos de 7 cm aproximadamente que fue cubierto con una pequeña capa de suelo, para luego depositar la semilla sobre dicha línea, este proceso se llevó a cabo en el mes de diciembre de 2021 y la cosecha se realizó los primeros días de abril 2022. Los tratamientos utilizados fueron T1 (Testigo), T2 (32 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 132 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), T3 (140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), T4 (120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 75 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) y T5 (100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 37,5 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O).

Los procedimientos para la recolección de datos consistieron en la determinación de los tenores de fosforo y potasio en el suelo, esta actividad se realizó posterior a la cosecha del cultivo para lo cual se tomaron muestras de suelo de las líneas fertilizadas con un barreno a 20 cm de profundidad, siendo remitidas al laboratorio de suelos de CETAPAR (Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay) ubicada en la Colonia Yguazú, Departamento de Alto Paraná.

Para la interpretación de los valores fue utilizada las tablas sugeridas por Cubilla (2005) para fosforo y Wendling *et al.* (2007) para potasio.

En cuanto al rendimiento del cultivo fueron cosechadas los granos ubicados en las hileras centrales de cada unidad experimental, seguidamente pesadas y expresadas en kg por hectárea. El análisis económico por su

parce, fue realizado en base a estimaciones de mercado según precio y costo de producción.

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza ANAVA y posteriormente se realizó la prueba de comparación de medias a través del tes de Tukey al 5% de probabilidad de error.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las condiciones en que se llevó a cabo la investigación se obtuvieron los siguientes resultados:

### Niveles de P y K en el suelo posterior a la aplicación de los fertilizantes

En la Figura 1 se observa una significativa variación de la concentración de fósforo en el suelo luego de la aplicación de diferentes niveles de  $P_2O_5$ , los valores expresan un incremento de aproximadamente 8 veces el tenor de fósforo en relación al testigo referencial con la aplicación de 140 kg de fertilizante fosfatado, estimando el máximo valor  $34.81 \text{ mg dm}^{-3}$ ; sin embargo, estos datos decrecen en la medida que se reduce la cantidad de  $P_2O_5$  incorporado al suelo con  $29.72$  y  $25.49 \text{ mg dm}^{-3}$  de P por cada  $120$  y  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  respectivamente.

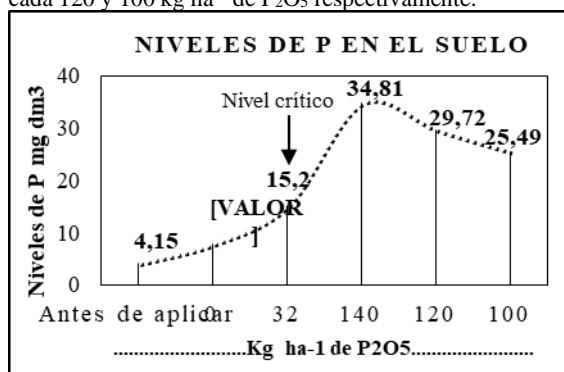


Figura 1: Interpretación de los niveles de fósforo en el suelo luego de la fertilización correctiva.

En la Figura 2 se observa la variación registrada posterior a la incorporación de diferentes niveles de óxido de potasio en el suelo, siendo el tenor más elevado  $0,28 \text{ Cmolc dm}^3$  relacionado con  $150 \text{ kg}$  de  $K_2O$ , este valor presenta una leve superioridad al tratamiento T3 el cual con la aplicación de  $132 \text{ kg ha}$  de  $K_2O$  registro un nivel de  $0,24 \text{ Cmolc dm}^3$ . Por su parte el tratamiento T4 registro  $0,17 \text{ Cmolc dm}^3$  siendo superior al tratamiento T5 y al testigo de la investigación promediando  $0,1 \text{ Cmolc dm}^3$ .

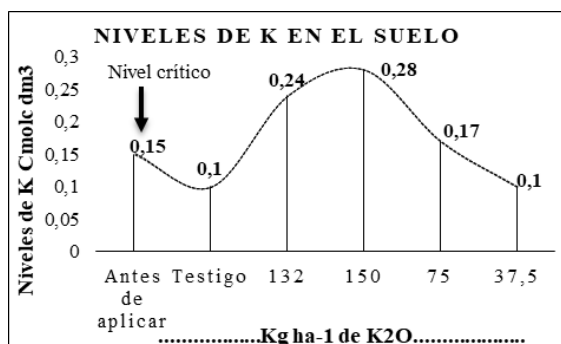


Figura 2: Interpretación de los niveles de potasio en el suelo luego de la fertilización correctiva.

Britos *et al* (2012) sostiene que, la relación entre cantidad de fertilizante fosfatado aplicado y la

concentración de fósforo en el suelo estimado por el coeficiente de determinación esta por la aplicación de  $16 \text{ kg}$  de  $P_2O_5$  para elevar  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  en la concentración de fósforo en los suelos estudiados.

Por su parte, Quiñonez (2019), estudio la dinámica de fósforo bajo diferentes sistemas de manejo de suelo, dedujo que los fertilizantes fosfatados pueden promover alteraciones en las fracciones de P, sin embargo, en este experimento no fueron observados cambios importantes, observándose bajos niveles de P, la adición de fertilizante fosfatado no afectó las formas de P, en profundidad solamente fue influenciado el P residual, siendo mayor en superficie  $341,5 \text{ mg kg}^{-1}$ , comparativamente con la camada subsuperficial  $259,8 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Según Cubilla *et al* (2012), a través de la ecuación de Mitscherlich, se logró determinar el tenor crítico de K en el suelo, siendo el valor  $75 \text{ mg dm}^3$  o el equivalente a  $0,18 \text{ Cmolc dm}^3$ , por debajo de este valor la capacidad de respuesta del cultivo a la fertilización potásica es Baja, Media o Alta (Wendling *et al.* 2007).

### Relación de la fertilización del rendimiento del cultivo de soja con relación a los tenores de P y K del suelo

En las Figuras 3 y 4 se aprecian las relaciones del rendimiento del cultivo de soja con los tenores de P y K y la aplicación de la fertilización correctiva, siendo el tratamiento con  $140$  y  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  y  $K_2O$ , el mejor resultado con un promedio de  $3547 \text{ kg ha}$  de granos de soja.

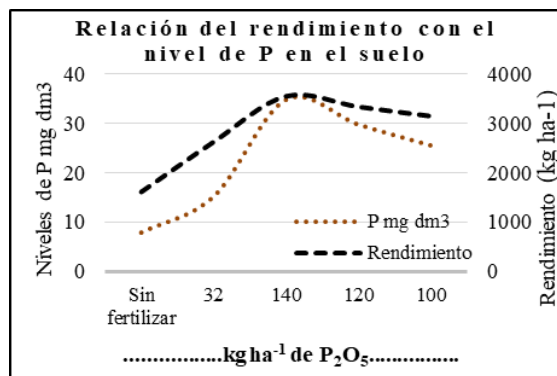


Figura 3: Interpretación de relación del rendimiento del cultivo de soja con el nivel de P del suelo

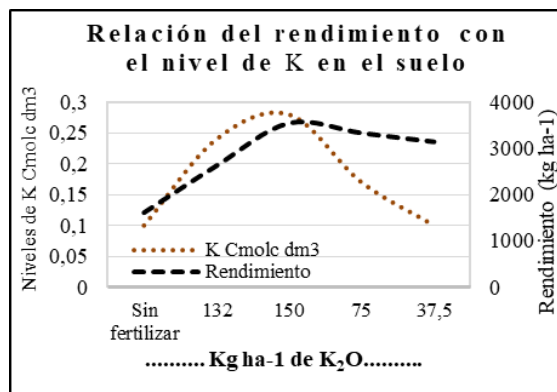


Figura 4: Interpretación de relación del rendimiento del cultivo de soja con el nivel de K del suelo

Algunos reportes de investigación sostienen que aplicando adecuadas cantidades de fósforo en la planta de la soja según afirmaciones de García y Vivas citado por López (2016) aumenta el crecimiento de las raíces. Por su parte Bernardi *et al.* (2009), reporto resultados no significativos en el rendimiento de grano en relación a la forma de aplicación de potasio en soja en suelo rojo arcilloso con nivel de potasio clasificado como alto.

### Relación del rendimiento con el índice de rentabilidad

En el cuadro 1, se observa el resultado del ANAVA, y como se ha expresado anteriormente, la mezcla de 140 – 150 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O obtuvieron el mejor resultado; no obstante, los tratamientos T4 y T5 se posicionaron por debajo del tratamiento T3 con 3332 y 3142 kg ha<sup>-1</sup> de grano, con (120 – 75) y (100 – 37.5) kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O.

Según el análisis de rentabilidad, un proyecto o negocio es rentable cuando la relación costo/beneficio es mayor a la unidad. Cuando el índice de rentabilidad es menor que 1 significa que no son rentables; pues no genera un margen de ganancia mayor al costo después de haberlo pagado.

**Cuadro 1.** Resultados de las variables rendimiento e índice de rentabilidad del cultivo de soja *Glycin max L. Merr*

Tratamientos	Niveles de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento Kg ha <sup>-1</sup>	Rentabilidad B/C
1	Sin fertilizar	1610,00 e	0,3
2	32 – 132	2625,00 d	0,3
3	140 – 150	3547,50 a	0,3
4	120 – 75	3332,50 b	0,5
5	100 – 37,5	3142,50 c	0,6

Silva et al (2022) indica que, al citar el rendimiento de grano de soja obtenidos en un experimento, se observó mayor respuesta del cultivo aplicando 120 kg ha de SFT y 150 kg ha de KCl (haul), con una productividad de 4341 kg ha<sup>-1</sup>. Por su parte, Melem *et al* (2015), sostienen que el cultivo de soja incremento la productividad al incrementar la fertilización potásica arrojando como rendimiento promedio 2572 kg ha<sup>-1</sup> con la incorporación de 90 kg de K<sub>2</sub>O. Los mismos reportes fueron expuestos por Moreno *et al* (2012) afirma que se pueden obtener respuestas a la fertilización con potasio bajo diferentes manejos, siempre y cuando el suelo tenga baja disponibilidad del nutriente.

### CONCLUSIONES

Con la aplicación de niveles altos P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, se obtuvo un incremento en los tenores de P y K del suelo con categorías de muy alta, los cuales se encuentran por arriba de los niveles críticos, siendo los valores 35 mg dm<sup>3</sup> y 0.28 Cmolc dm<sup>-3</sup> respectivamente.

Así mismo, el mejor rendimiento de la soja se obtuvo con los niveles más altos P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, el cual presentó una relación progresiva, mientras que el análisis económico, no registro respuestas favorables.

### REFERENCIAS

- Barreto, U. 2008. Recomendaciones de fertilización con fosfato y potasio para los principales cultivos de granos bajo sistema de labranza cero en Paraguay (en línea). Tesis Doctoral en Ingeniería Agrícola, Santa Maria, RS, Brasil. Universidad Federal Santa Maria. Centro de Ciencias Rurales Pag: 223 Consultado el 3 de may. 2023. Disponible en: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3567/URSINORIQUELME.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bernardi, AC; Oliveira, JP; Leandro, WM; Mesquita, TG; Freitas, PL; Carvalho, MC. Dosis y formas de aplicación de la fertilización potásica en rotación de soja, mijo y algodón en sistema de sistema de siembra directa. (en línea). Investigación Agropecuaria Tropical. V. 39. n. 2. Goiânia: Universidade Federal de Goiânia. Consultado el 15 de abr. 2023. Disponible en: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/3519/4782>
- Britos, CA; Causarano, HJ; Rasche, JW; Barreto, UF; Mendoza, F. 2012. Fertilización fosfatada de los principales cultivos bajo siembra directa mecanizada en la región oriental del Paraguay (en línea). Investig. Agrar. 2012;14(2):87-92. Consultado el 15 de abr. 2023. Disponible en: <http://scielo.iics.una.py/pdf/ia/v14n2/v14n2a03.pdf>
- CAPECO (Cámara Paraguaya de Productores, Exportadores de Cereales y Oleaginosas) 2022. Paraguay desciende dos lugares en el ranking mundial de mayores productores y exportadores de soja (en línea). Paraguay. CAPECO (Cámara Paraguaya de Productores, Exportadores de Cereales y Oleaginosas). Consultado 28 abr. 2023. Disponible en <https://capeco.org.py/2023/01/13/paraguay-desciende-dos-lugares-en-el-ranking-mundial-de-mayores-productores-y-exportadores-de-soja/>
- Cubilla, M. 2005. Calibração visando recomendação de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai.(en línea). Tesis Maestría en Ciencias de Suelo, Santa Maria, RS, Brasil. UFSM. Pag. 167. Consultado: 15 set. 2021. Disponible en: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5486/Dissertacao%20Martin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cubilla, M.; Wendling, A.; Eltz, F; Amado, T; Mielniczuk, J. 2012. Recomendaciones de fertilización para soja, trigo , maíz y girasol bajo el sistema de siembra directa en el Paraguay (en línea). Paraguay. CAPECO (Cámara Paraguaya de Productores, Exportadores de Cereales y Oleaginosas). Consultado 15 set. 2021. Disponible en: <https://capeco.org.py/wp-content/uploads/2011/06/LIBRO-Recomendaciones-de-Fertilizacion-para-Paraguay-Martin.pdf>
- Duarte, A. 2019. Producción de maíz – soja y alteraciones de parámetros químicos del suelo por aplicación de yeso con cal agrícola (en línea). Tesis de grado Magister en Ciencias de suelo, San Lorenzo, Paraguay. Universidad Nacional de Asunción Facultad de Ciencias Agrarias Maestría en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial. Pag: 89 Consultado el 3 de may. 2023. Disponible en: <https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/Tesis-Alder%20Duarte.pdf>

- López, E. 2016. Efecto de fuentes y dosis de fósforo en el cultivo de soja (*Glycine max L.*) en un suelo rhodic paleudult. (en línea). Paraguay. 5p. Consultado 15 nov 2022. Disponible en: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/efecto-fuentes-dosis-fosforo-t32921.htm>
- Melem, N. (ed.). 2015. Evaluación de la productividad de soja a diferentes dosis de potasio en la región de Belterra/PA. Faber, J; Gallo, J; Oliveira, R; Da Silva, A; Oliveira, D. (Memoria. 25 Congreso Brasileiro de Ciencias de Suelo). (en línea). Consultado el 15 de abr. 2023. Disponible en: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/135250/1/CPAF-AP-2015-Avaliacao-da-productividade-da-soja-Belterra.pdf>
- Moreno Resquin, H; Causarano, HJ; Causarano, HJ; Rasche, JW; Barreto, UF; Mendoza, F. 2012. Fertilización potásica de los principales cultivos bajo siembra directa mecanizada en la región oriental del Paraguay (en línea). *Investig. Agrar.* 14 (1), 41-49. Consultado el 15 de abr. 2023. Disponible en: [http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2305-06832012000100006](http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2305-06832012000100006)
- Quiñonez, L. 2019. Dinámica de fósforo bajo diferentes sistemas de manejo de suelo (en línea). Tesis de grado Magister en Ciencias de suelo, San Lorenzo, Paraguay. Universidad Nacional de Asunción Facultad de Ciencias Agrarias Maestría en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial. Pag: 78 Consultado el 3 de may. 2023. Disponible en: <https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/Tesis%20-Laura%20Qui%C3%B1onez.pdf>
- Silva, J. Da; Jeziorski, CL; Klarmann, PA. 2022. Efectos del manejo de la fertilización potásica, con y sin adición de fuente de calcio, sobre el rendimiento de grano y sus componentes en el cultivo de soja (en línea). *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento* ISSN: 2448-0959. Consultado el 15 abr. 2023. Disponible en: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/agronomia-es/fertilizacion-potasica>
- Wendling, A.; Eltz, F.L.F; Cubilla, M.M.; Amado, T.J.C.; Mielniczuk, J.; Lovato, T 2007. Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai., (en línea). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:985-994, Consultado 05 ene. 2023. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/fQzCY6b7STRSnWwdKb3VRjJ/>