

Fertilización con fósforo y con potasio en soya en la Zona Norte-Integrada de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

Ing. Agr. M.Sc. Juan Carlos Quevedo Camacho
UNISOYA (Unión de Empresas Agropecuarias del Norte)
Santa Cruz de la Sierra, Bolivia
quevedo_jc@hotmail.com

La fertilización de la soya es una práctica cada vez más difundida en Santa Cruz de la Sierra (Bolivia). El continuo proceso de deterioro en la fertilidad de los suelos ha provocado la aparición de respuestas a la fertilización con fósforo (P) y con potasio (K) en varias propiedades del departamento. Adicionalmente, muchos campos se encuentran en monocultivo, por lo que la única vía de reposición de nutrientes es la fertilización de la soya.

La reconocida fragilidad de la zona Norte-Integrada, y dentro de ella la zona de Aguaís, requiere un conocimiento detallado de sus aptitud y potencialidades y un cuidado particular en su manejo. Estamos convencidos que estas premisas no solo son válidas a nivel regional, lo que implicaría una planificación territorial y decisiones colectivas o gubernamentales, sino también a nivel de los propios predios individuales, dónde la decisión está en manos de cada productor.

UNISOYA (Unión de Empresas Agropecuarias del Norte) desde hace varias campañas ha evaluado la respuesta a la fertilización con P y con K del cultivo en diferentes localidades desde Chané hasta Nueva Toledo. Estos ensayos, integrados a otros estudios realizados por empresas agrícolas, están permitiendo identificar respuesta a estos nutrientes en áreas con historial de desmonte de aproximadamente 8 años. En promedio y en el caso del P, se observa una elevada frecuencia de respuesta cuando los lotes son oriundos de vegetación de "chuchiales" *Gynerium sagittatum* (aubl.) y en suelos con clases texturales franco-arenosos a franco-limosos con umbrales críticos de P (método Olsen Modificado) menores a 4 mg kg^{-1} (Quevedo et al, 1995). Para el caso del K, se han observado respuestas variables en función a los niveles de K intercambiable existentes en la zona, variando de 0.1 a 0.8 cmol kg^{-1} de suelo, predominando valores intermedios.

En este escrito se presentan los resultados de una nueva experiencia realizada en la campaña de invierno 2004, para la validación de estas observaciones.

Materiales y métodos

Se realizó una experiencia en la localidad de Aguaís, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia; en la propiedad "Cinco estrellas" (Figura 1). Se combinaron factorialmente *i)* dosis de fertilización con P (0, 15, 30 y 45 kg/ha de P_2O_5) y *ii)* dosis con K (0, 15, 30 y 45 kg/ha de K_2O), empleándose fosfato diamónico (DAP) y cloruro de potasio (KCl), respectivamente. En todos los casos, los niveles de N se equilibraron con la aplicación correctiva correspondiente de urea. Los tratamientos evaluados se observan en la Tabla 1.



Figura 1. Mapa departamental de Bolivia mostrando Aguais y Santa Cruz de la Sierra. Fte.: Instituto Nacional de estadística, INE-Bolivia.

Tabla 1. Tratamientos de fertilización evaluados en el ensayo de UNIOSOYA, en Aguais, Santa Cruz, Bolivia.

Tratamientos	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
1 (Testigo)	0	0
2	0	15
3	0	30
4	0	45
5	15	0
6	15	15
7	15	30
8	15	45
9	30	0
10	30	15
11	30	30
12	30	45
13	45	0
14	45	15
15	45	30
16	45	45

El lote donde se estableció el ensayo fue desmontado en el año 1995 y se cultivo fundamentalmente con soya en invierno y verano en los últimos 8 años. El cultivo antecesor fue soya y la siembra se efectuó el 12 de julio de 2004, con sembradora John

Deere a 0,42 m entre líneas, usando la variedad Tucunaré, con una densidad de 18 semillas/m lineal.

En el momento de la siembra se tomaron muestras de suelo de la capa de 0-20 cm para su descripción y comparación con las provenientes de un monte natural aledaño al sitio de estudio. Se tomaron muestras foliares del cultivo en tratamientos selectos al estadio reproductivo R-2 para su caracterización nutricional.

Se evaluaron los componentes del rendimiento (número de plantas, vainas por planta, granos por metro cuadrado, peso individual de granos) y la producción de granos en madurez fisiológica.

Cada unidad experimental se componía de 5 surcos por 13 m de longitud y los fertilizantes se aplicaron cuando los cotiledones estaban completamente fuera, incorporados manualmente al costado y por debajo de la línea de siembra.

El diseño experimental consistió en bloques al azar con 16 tratamientos y 3 repeticiones. El análisis estadístico se realizó a través del MSTATC utilizando ANOVA y el test de Tukey para la comparación entre medias. Además se realizaron análisis de regresiones con ajustes de modelos cuadráticos.

Las precipitaciones y las temperaturas medias registradas quincenalmente durante el crecimiento del cultivo se indican en la Figura 2.

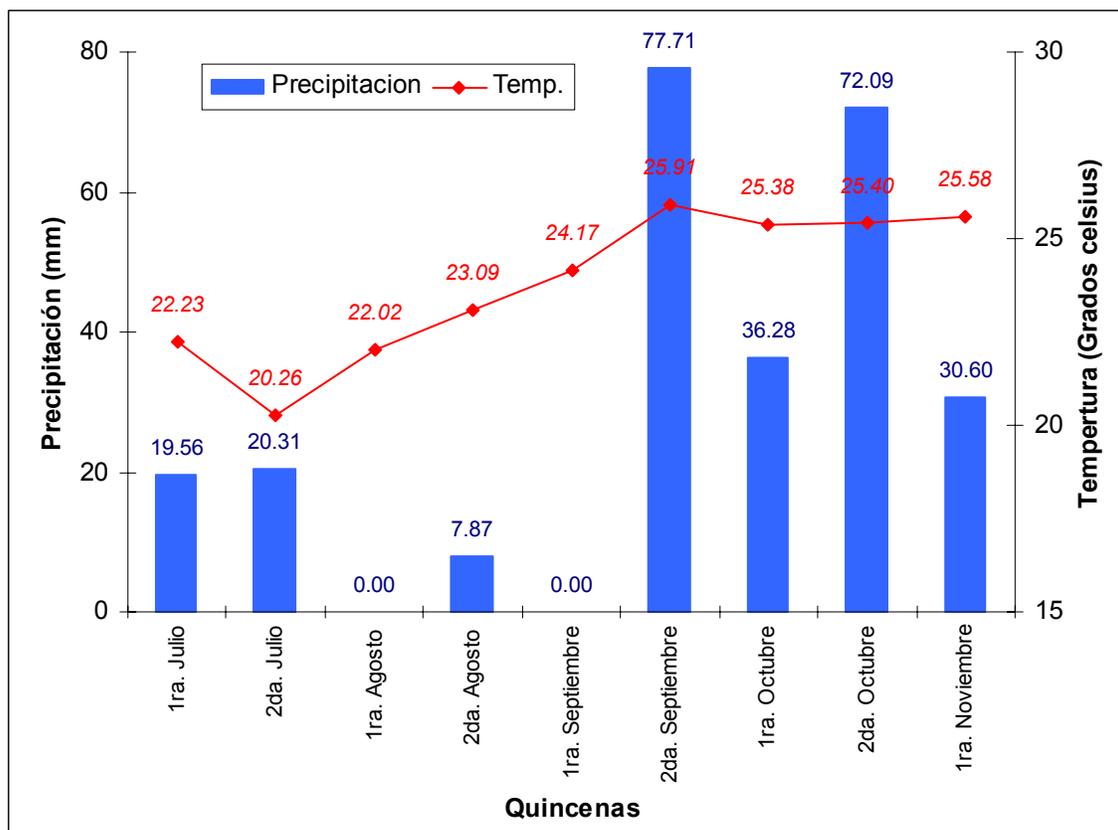


Figura 2. Precipitación y temperaturas medias quincenales registradas en la propiedad "Cinco estrellas" en la Campaña de Invierno 2004, Aguaiás, Santa Cruz, Bolivia.

Resultados y discusión

El análisis de suelo mostró una disminución de la concentración de P y K con respecto a la muestra de suelo del monte natural (Cortina Norte), indicando la degradación química a través del tiempo producto mayormente de la extracción en los granos y otros procesos (por ej., empobrecimiento de residuos orgánicos) (Quevedo et al., 1996), (Tabla 2 a y b). Asimismo, se observa una marcada disminución en calcio y magnesio respecto del monte natural, mientras que el nivel de materia orgánica presenta una disminución menor.

Tabla 2a. Datos analíticos de suelo a la floración del cultivo.

SITIOS	pH 1:5 Agua	CE: 1:5	Carbonatos Libres	Ca	Mg	Na	K	C.I.C.	Sat. de Bases
		$\mu\text{S.cm}$							
Ensayos	6.0	61	A	2.9	2.3	0.07	0.27	5.7	96
Monte Natural	6.9	207	A	3.4	5.0	0.16	0.49	9.2	99

Tabla 2b. Datos analíticos de suelo a la floración del cultivo.

SITIOS	Acidez Potencial	P (Olsen Mod.)	M.O.	N Total	Arena	Limo	Arcilla	Textura
	cmol kg	mg/kg	----- % -----					
Ensayos	0.2	3.5	1.5	0.09	17	67	16	FL
Monte Natural	0.1	10	1.8	0.1	22	67	11	FL

En la Tabla 3 se hallan los resultados de las muestras foliares de ciertos tratamientos. Podemos apreciar una correlación positiva entre la absorción de P en la planta, con las dosis que fueron aplicados. Sin embargo, aun con las mayores dosis utilizadas, los tenores no alcanzaron los rangos adecuados señalados por Malavolta et al. (1997). Esto podría indicar que la soya respondería a una mayor dosis. Los niveles de K foliar, se ubicaron en el rango adecuado en todos los tratamientos. Entre los otros nutrientes, el cobre (Cu) fue el único que se ubicó en valores algo por debajo de los críticos mencionados por Malavolta et al. (1997).

Tabla 3. Datos analíticos del tejido foliar a la floración del cultivo.

TRATAMIENTOS	Concentración											
	% sobre materia seca							ppm sobre materia seca				
	N	P	Na	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
0 P ₂ O ₅ + 0 K ₂ O	4.70	0.18	0.10	2.00	0.93	0.45	0.34	489	86	8	53	39
0 P ₂ O ₅ + 45 K ₂ O	4.70	0.19	0.11	2.06	0.91	0.43	0.35	400	81	9	59	36
45 P ₂ O ₅ + 0 K ₂ O	4.90	0.23	0.11	2.12	0.83	0.44	0.31	445	80	9	43	36
45 P ₂ O ₅ + 45 K ₂ O	5.30	0.25	0.11	2.14	0.76	0.42	0.32	475	83	10	47	35
Rango Crítico ¹	4.5-5.5	0.26-0.5	-	1.7-2.5	0.2-0.4	0.3-1.0	0.25	51-350	21-100	10-30	21-50	21-55

¹Rangos críticos indicados por Malavolta et al. (1997).

Los rendimientos de soya variaron entre aproximadamente 1000 kg/ha y casi los 2500 kg/ha, mostrando una estrecha relación con el número de granos por unidad de superficie, y sin ser mayormente afectados por modificaciones en el peso individual de estos (Figura 3 a y b). La Figura 4 muestra diferencias visuales en color y desarrollo del cultivo entre algunos tratamientos en estado vegetativos.

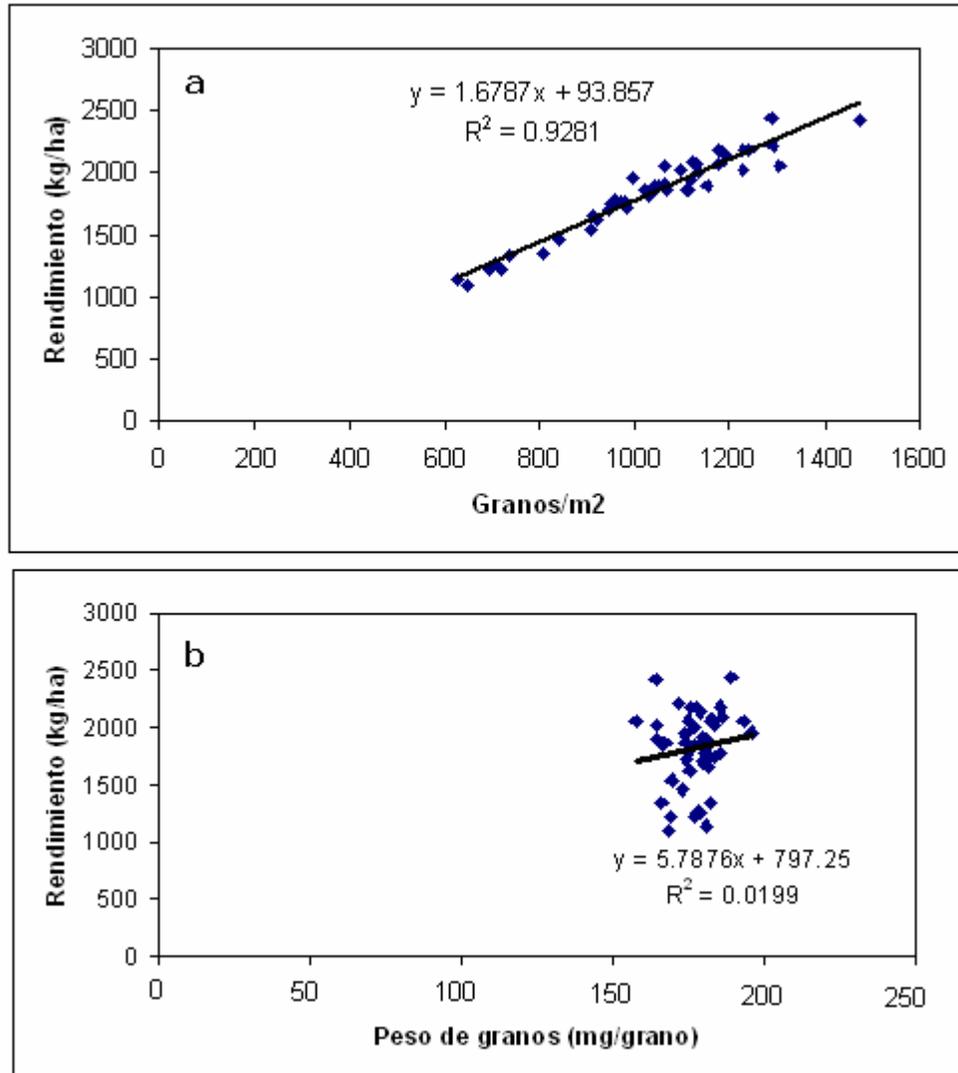


Figura 3. Relación entre la producción de grano de soya y los componentes del rendimiento, número de granos por m² (a), y peso de granos (b).

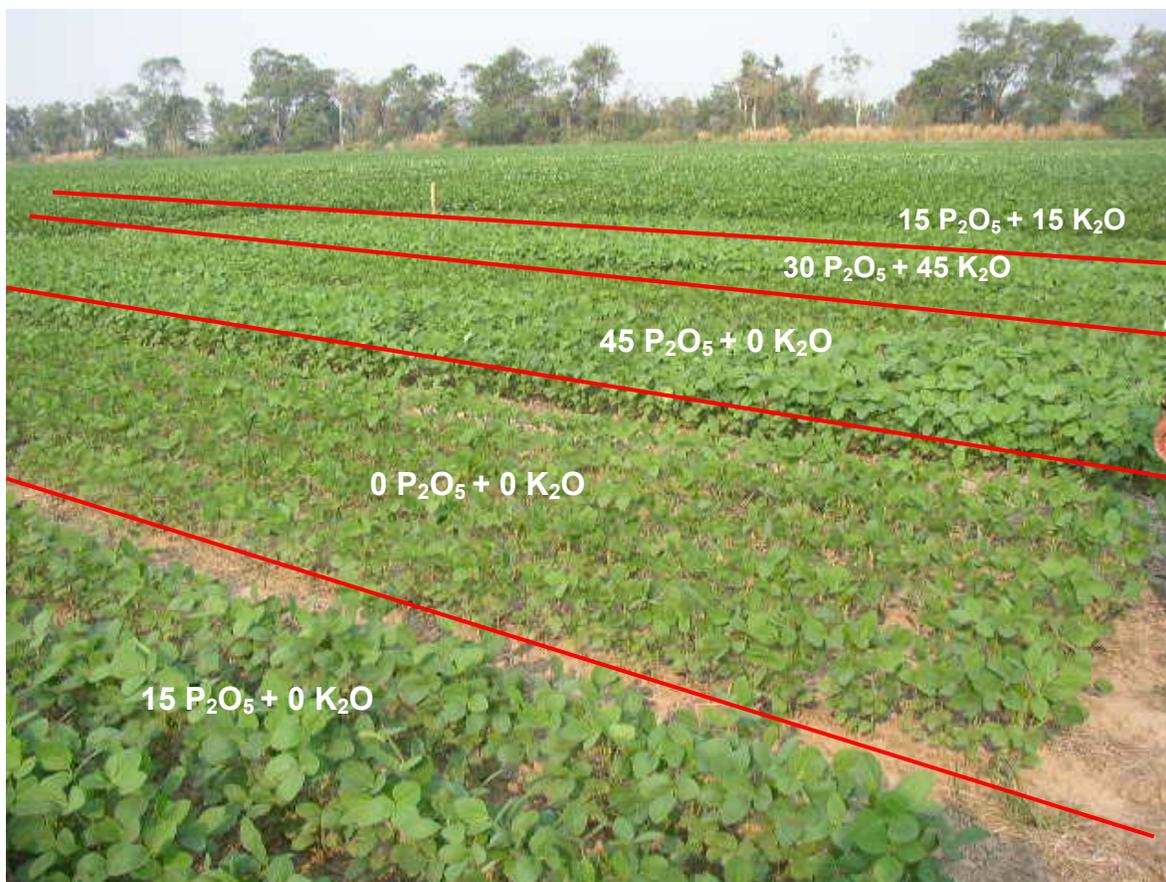


Figura 4. Efecto de la fertilización fosforada y potásica en soya. Se observa diferencia en la coloración de las hojas, alturas de plantas y cierre del entresurco en los diferentes tratamientos. Propiedad "Cinco estrellas", Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Campaña Invierno 2004.

La Tabla 4 presenta un resumen del análisis estadístico (ANOVA), realizado para las distintas variables de cultivo analizadas. No se observaron efectos significativos de interacción P*K y de K en ninguna de las variables. La dosis de P afectó la altura de planta, el número de vainas, el número de granos y el rendimiento. El peso de grano (promedio de 117 mg/grano), no fue afectado por los tratamientos de P, K, o K*P. Estos análisis indican que, en las condiciones de este estudio, el comportamiento de los cultivos a la fertilización con P o con K presentó efectos independientes. Es decir, que las respuestas descritas al agregar P ocurrieron estadísticamente por igual en los diferentes niveles de fertilización potásica.

Tabla 4. Resumen del análisis estadístico (ANOVA) para las distintas variables de cultivo evaluadas.

Fuente de variación	Altura de plantas	No. Vainas	No. Granos	Peso de grano	Rendimiento
K	NS ¹	NS	NS	NS	NS
P	*	*	*	NS	*
P*K	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	5.9	16.8	12.6	4.4	13.2

¹NS= no significativo; * = significativo al nivel de 1%.

Los mayores rendimientos se lograron con la mayor dosis de P (45 kg/ha P₂O₅) (Tabla 5), Las diferencias fueron debidas fundamentalmente al mayor número de granos obtenidos con esta dosis de P. Para las variables altura de planta y No. vainas por planta, no se observaron diferencias entre las dosis de 30 y 45 kg/ha de P₂O₅, las que a su vez superaron a las dosis de 0 y 15 kg/ha P₂O₅.

Tabla 5. Efecto de las dosis de P sobre las variables de cultivo evaluadas.

Dosis de P (kg/ha P ₂ O ₅)	Altura de plantas (cm)	No. Vainas (vainas/planta)	No. Granos (granos/m ²)	Rendimiento (kg/ha)
0	54.8 c ¹	13.0 b ¹	816.7 c ¹	1450 c ¹
15	59.7 b	14.4 b	1035.8 b	1868 b
30	62.7 a	16.3 a	1073.2 b	1911 b
45	64.9 a	17.4 a	1193.4 a	2060 a

¹ Valores seguidos por la misma letra en cada columna no difieren significativamente al nivel de probabilidad del 5%.

Los mayores rendimientos se alcanzaron con la aplicación de 43 kg/ha de P₂O₅, según lo muestra el ajuste cuadrático de los rendimientos de soya con la fertilización fosfatada (Figura 5). El ajuste lineal meseta podría sugerir niveles de máximo rendimiento alcanzables con aplicaciones de aproximadamente 22 kg/ha de P₂O₅, siendo conveniente la disponibilidad de más información (estudios similares pero bajo nuevas condiciones ambientales) para un mejor ajuste de esta dosis. El hecho de que se lograron los mayores rendimientos con la dosis máxima evaluada de 45 kg/ha de P₂O₅, también indica que a nivel experimental sería conveniente evaluar dosis más elevadas para definir de manera más precisa la dosis óptima.

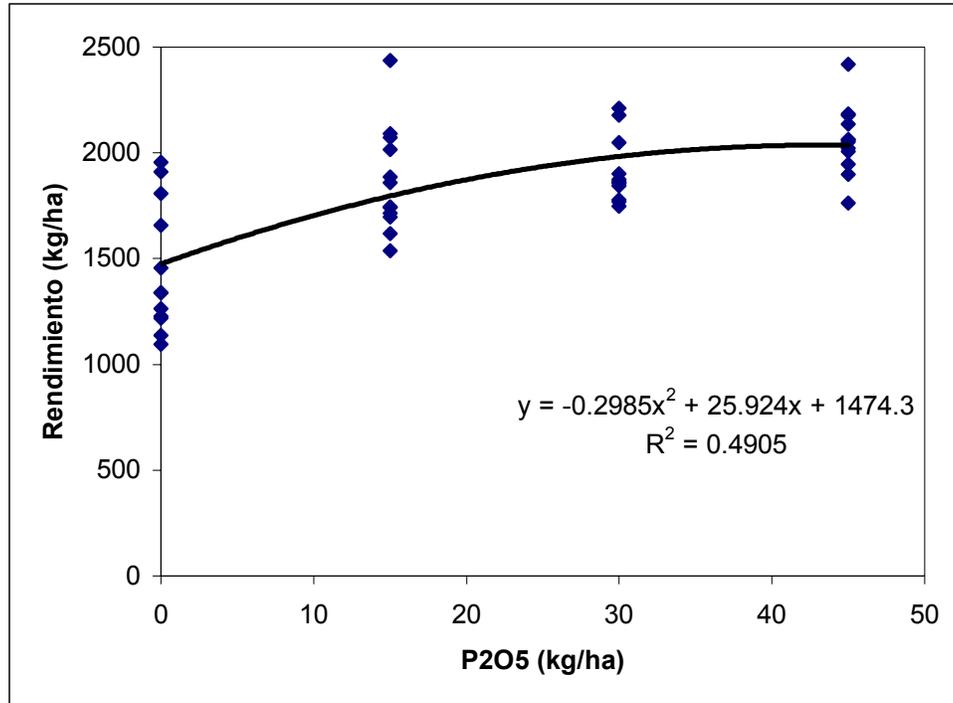


Figura 5. Rendimiento de soja según niveles de fertilización fosforada con P₂O₅.

Las respuestas a la aplicación de P confirman la necesidad de aplicación de fertilizantes fosfatados en suelos con bajos niveles de P extractable como en este caso (3.5 ppm P Olsen). Calibraciones realizadas en el estado de Iowa (EE.UU.), con el mismo extractante de Olsen, indican que la probabilidad de respuesta a la fertilización fosfatada en soja es alta con niveles de P Olsen menores de 10 ppm, y muy alta con niveles por debajo de las 5 ppm (Mallarino, 2005).

Con relación al K, los resultados corroboraron que con los niveles moderados existentes en el suelo (Tabla 2), y con los rendimientos obtenidos en este ensayo, la fertilización potásica no sería necesaria. Sin embargo, vale destacar la importancia de fertilizar con K fundamentalmente con la finalidad de reponer el elemento exportado en la cosecha.

Conclusiones

En las condiciones de este estudio se ha descrito la conveniencia de fertilización fosfatada para alcanzar altos rendimientos de soja en el zona de Aguáis (Bolivia). Los rendimientos máximos se alcanzaron con la dosis máxima evaluada de 45 kg/ha de P₂O₅, y se estimó una dosis de 43 kg/ha de P₂O₅ para el rendimiento máximo económico. No obstante, este estudio no es conclusivo, en particular con referencia a los niveles de fertilización requeridos para maximizar los rendimientos, y sería conveniente su repetición en diferentes condiciones ambientales (varias campañas), para un mejor y conclusivo ajuste de la respuesta del cultivo al P. La respuesta a K debe ser evaluada bajo otras condiciones de disponibilidad en el suelo en otros ambientes.

Bibliografía

Quevedo, J. C. 1995. Efeito do balanço de cátions e ânions da planta na acidificação do solo por fertilizantes nitrogenados. Piracicaba. 106 p. (Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- ESALQ/USP, Brasil.

- Quevedo, J. C. 1996. Efectos de sistemas de labranza en las propiedades químicas del suelo. "Curso Intensivo de Siembra Directa" PROCISUR (Programa de Cooperación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Cono Sur (Argentina-Bolivia-Brasil-Chile-Paraguay-Uruguay), Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 5 – 8 Noviembre 1996.
- Malavolta E., G. Vitti y S. Oliveira. 1997. Avaliacao do estado nutricional das plantas. 2ª. Ed. POTAFOS. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 319 p.
- Mallarino A. 2005. Criterios de Fertilización Fosfatada en Sistemas de Agricultura Continua con Maíz y Soja en el Cinturón del Maíz. Actas CD Simposio "Impacto de la Intensificación Agrícola en el recurso Suelo". SUCS-AACS. Colonia del Sacramento, Uruguay, 6-7 Octubre 2005.