

Manejo del suelo, fertilidad y nutrición de la soja para aumentar la capacidad productiva en la región oriental del Paraguay

Martín M. Cubilla A.¹

Introducción

Los principales suelos de las regiones productoras de granos del Paraguay, en especial los situados al Este y Sudeste de la Región Oriental, son derivados de roca basáltica. Estos suelos son bien desarrollados, profundos, bien drenados, de coloración rojiza, ricos en sesquióxidos de hierro y aluminio, pobres en fósforo (P), pero bien provistos de bases intercambiables como el potasio (K), el calcio (Ca) y el magnesio (Mg).

En general, existen dos factores químicos limitantes del suelo para la producción agrícola, principalmente cuando se trata de cultivos de leguminosas, como la soja; estos son la acidez y el bajo nivel de P extractable. Por otro lado, estos suelos tienen una alta capacidad de fijación de P, lo que hace necesaria que la fertilización fosfatada satisfaga tanto los requerimientos de la planta como los del suelo.

La absorción de nutrientes por la soja [*Glycine max* (L.) Merr.], es influenciada por diversos factores, entre ellos las condiciones climáticas, como lluvia y temperatura, las diferencias genéticas entre las variedades, el nivel de nutrientes en el suelo y los diversos tratamientos culturales.

Las condiciones de humedad y temperatura son más favorables con cobertura en sistema de siembra directa (SSD) teniendo un efecto positivo en la vida de los microorganismos. En este sistema, las condiciones favorecen la biota del suelo y, consecuentemente, tiene efectos positivos sobre la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos.

Es tarea del productor procurar el mejor ambiente posible para el crecimiento de la soja, utilizando prácticas de manejo, tales como cultivo y fertilización con criterios de conservación de suelo, selección de variedades y densidad de plantas más adecuada, y control integrado de malezas, plagas y enfermedades. Las combinaciones de estas prácticas varían en diferentes situaciones de producción y niveles de manejo del suelo y son fundamentales en la determinación del éxito de la producción final.

Manejo conservacionista del suelo

Las técnicas conservacionistas de manejo del suelo, y en especial el SSD, han sido incentivadas en los últimos años con la finalidad de reducir la degradación del suelo. La variación espacial de las características físicas, químicas y biológicas del suelo en SSD, es mayor del que en el sistema convencional. La filosofía del SSD tiene en su esencia el equilibrio del ecosistema, ya que posibilita la

auto-sustentación en términos económicos, sociales y ecológicos.

El SSD tiene su fundamento en la eliminación del uso de arado y/o rastra, en su cobertura permanente y en la rotación de cultivos. La erosión fue la principal razón que llevó a los agricultores a adoptar este sistema, ya que la actividad agropecuaria se estaba tornando casi insustentable.

La siembra directa, en principio, procura recuperar los suelos de baja aptitud y capacidad agrícola, haciendo que pequeños, medianos y grandes productores trabajen el suelo en forma continua. El manejo de la fertilidad del suelo y de fertilización debe ser, por tanto, adaptado a estas prácticas de uso y manejo del suelo.

El SSD es más complejo, como dicho anteriormente, y es más exigente en cuanto al manejo de suelos y de los cultivos. Requiere programación de área, análisis de suelo, utilización de correctivos y fertilizantes para el mejoramiento de la fertilidad del suelo, rotación de cultivos, equipamientos adecuados, buen conocimiento y control integrado de malezas, plagas y enfermedades, además del seguimiento del desarrollo de los cultivos en la propiedad.

Las investigaciones realizadas a campo demuestran que, en el SSD, se registran mayores valores de materia orgánica (MO), N, P, K, Ca, y Mg, como también mayores valores de pH y mayor capacidad de intercambio catiónico y menores tenores de aluminio tóxico (Derpsch et al., 1986; Sidiras y Pavan, 1986; Eltz et al., 1989). El SSD se constituye en una contribución significativa para mantener la fertilidad del suelo en los trópicos y subtrópicos (Derpsch y Benites, 2004).

Manejo de cultivos de cobertura y la fertilidad del suelo

La utilización de cultivos de cobertura en el periodo en que el suelo no es utilizado con cultivos comerciales, además del control de la erosión, mejora la fertilidad del suelo. Esto es debido al reciclaje de nutrientes que se perderían por lixiviación o erosión superficial en suelos sin cobertura vegetal, y la adición de N por fijación biológica (FBN), en caso de utilización de leguminosas.

Los beneficios de los cultivos de cobertura sobre la disponibilidad de P y K pueden ser observados a mediano plazo y son debidos al reciclaje de esos nutrientes y a menores pérdidas por erosión. Tales beneficios son detectados en los análisis de suelo, que en general indican mayores tenores de esos nutrientes (Anghinoni y Bayer,

¹ Testing Operation Manager – Monsanto, Paraguay. Correo electrónico: martin.maria.cubilla@monsanto.com

2004). Los cultivos de cobertura aportan cantidades importantes de biomasa, colaboran en la recuperación del tenor de MO de los suelos agrícolas, y tienen una función relevante en la mitigación del efecto estufa o calentamiento global. La siembra directa nos posibilita recuperar los niveles de MO perdidos durante el uso del suelo en el sistema de siembra convencional. Bajo el SSD hay una mayor fijación de dióxido de carbono atmosférico (CO₂), almacenado temporalmente en el suelo en los diferentes compartimientos de la MO. En un futuro próximo, los suelos tropicales y subtropicales, por su extensión, podrán considerarse destinos estratégicos del CO₂ atmosférico (Amado y Costa, 2004).

Nutrientes necesarios para la soja

La aplicación de nutrientes y la corrección de la fertilidad de los suelos para la producción de soja, deben ser realizadas con base a los resultados de análisis de suelos y sobre todo, en base a las recomendaciones de investigaciones locales, que hoy en día el Paraguay posee. La fertilización se basa en la corrección y en la manutención de nutrientes. La corrección de la fertilidad es realizada considerando deficiencias o desequilibrios de elementos esenciales para el desenvolvimiento de las plantas cultivadas, como el caso de la soja. La manutención es basada en la reposición de los nutrientes extraídos con los productos del cultivo. La remoción de nutrientes en los granos (tenor + exportado en los granos) y la necesidad para el desarrollo vegetativo varían con las especies cultivadas y las características químicas y biológicas del suelo (Gassen et al., 2003). La reposición de nutrientes debería ser equivalente a las cantidades extraídas en la producción, para mantener la fertilidad del suelo.

La soja es el vegetal cultivado en áreas extensivas con mayor tenor de aceite y proteína. Los granos contienen por encima del 40% de proteínas y en torno de 20% de aceite. Para producir proteínas y aceite el cultivo necesita de tenores diferenciados de nutrientes. Para producir una tonelada de granos son necesarios 79 kg de N, 19 kg

de P₂O₅, 39 kg de K₂O, 13 kg de Ca, 7 kg de Mg y 8 kg de S, además de otros elementos esenciales (Gassen et al., 2003). En la **Figura 1** se ilustra la necesidad de nutrientes de la planta y la exportación de los mismos en los granos de soja.

La alta concentración de proteínas en las semillas de soja, la convierte en el cultivo con la mayor demanda de N y, por eso, este es el nutriente más crítico para la producción. En su carácter de leguminosa puede cubrir buena parte de sus requerimientos de N a partir del aporte de la fijación biológica de N (FBN), que ocurre con bacterias del género *Bradyrhizobium*. Por esta razón, se debe evitar la fertilización con N mineral, que causa inhibición de la nodulación y reduce la eficiencia de la fijación, y no aumenta la productividad del cultivo, además de ser un costo innecesario para el productor.

A fin de que la FBN sea eficiente, existe la necesidad de corregir la acidez del suelo y proveer aquellos nutrientes que están en cantidades limitantes. Además, es fundamental inocular asegurando la mayor cantidad de bacterias sobre la semilla logrando una infección rápida y la generación de nódulos en las raíces que sean efectivos para la FBN.

Interacción encalado-fósforo

En los suelos de la región, el manejo del encalado es una de las principales maneras de garantizar un mejor aprovechamiento de los nutrientes y de esta forma obtener altos rendimientos. Ensayos de encalado y fertilización fosfatada en los Estados de Santa Catarina y de Río Grande del Sur – Brasil, han mostrado que mejora el aprovechamiento del P en el cultivo de soja, con aumentos considerables de la productividad (Eltz et al., 1975; Scherer, 1998).

El efecto interactivo encalado-fósforo fue observado en el SSD (Nolla y Anghinoni, 2003) con mayor respuesta de la soja a dosis de P que a la de encalado e interacción positiva en las dosis más bajas. La disponibilidad de P puede, por tanto, ser considerada como el factor más limitante en los suelos que provienen del mismo material de origen (basalto) y se desarrollan en un clima húmedo y relativamente templado, como los situados al Este y Sudeste de la Región Oriental del Paraguay.

El encalado resulta en mayor productividad de los cultivos, no solamente por la neutralización de la acidez, sino también por el aumento de la disponibilidad de P, resultante de la disminución de la adsorción de P y una mayor eficiencia de la fertilización fosfatada.

Fertilización de la soja

La fertilización es una práctica destinada a la provisión de nutrientes de acuerdo con las necesidades del cultivo y la capacidad de abastecimiento de los mismos por el suelo. El cultivo de la soja tiende a obtener menores productividades cuando la fertilidad del suelo no es favorable. Esto está

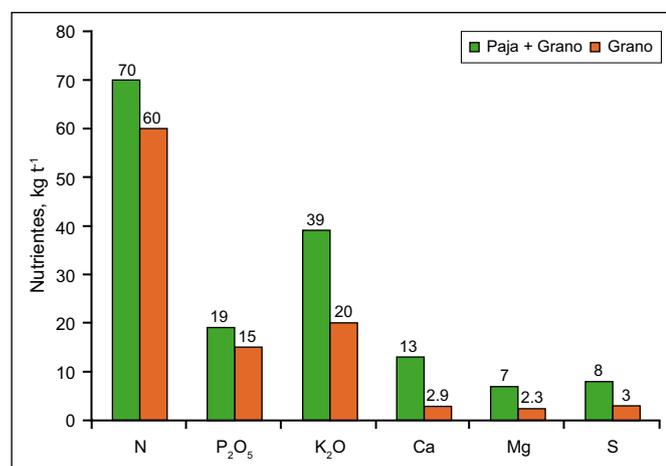


Figura 1. Necesidad de nutrientes en la planta y exportación en los granos de soja (Promedio de varias fuentes, citado por Gassen et al., 2003).

asociado a la falta del manejo adecuado de la fertilización en las áreas agrícolas y al desinterés actual de realizar buenas prácticas de manejo de suelos: suelos desnudos, rastreados y consecuentemente sin cobertura, dejando de lado todo el sistema de conservación de los suelos, así como las buenas prácticas agronómicas, entre ellas la fertilización adecuada.

Una vez que se han realizado los estudios de calibración y cuantificación de dosis de fertilizantes, se debe definir el criterio de fertilización para establecer las dosis en las tablas de recomendación. Las recomendaciones son orientadas por los tenores de nutrientes determinados en el análisis de suelo, e interpretadas en categorías, "Muy baja", "Baja", "Media", "Alta" y "Muy Alta" (Tablas 1 y 2). A partir de la interpretación del nutriente en el suelo se realiza la recomendación para el (los) cultivo (s).

El sistema de recomendación de fertilización en este trabajo tiene por objetivo elevar los tenores de los nutrientes a niveles considerados adecuados para que los cultivos expresen su potencial de rendimiento, siempre que los demás factores no sean limitantes. El uso de estas recomendaciones ayudará a elevar el tenor de nutrientes al "nivel crítico", lo que corresponde aproximadamente al 90% del rendimiento máximo de los cultivos, que también está próximo al máximo retorno económico.

Tabla 1. Interpretación del tenor de P en el suelo extraído por el método Mehlich-1, conforme el tenor de arcilla para soja, trigo, maíz, y girasol (Cubilla et al., 2012).

Interpretación	Clase del suelo conforme al tenor de arcilla	
	Clase 1 (410-600 g kg ⁻¹)	Clase 2 (210-400 g kg ⁻¹)
	----- mg P dm ⁻³ -----	
Muy baja	≤4.0	≤5.0
Baja	4.1-8.0	5.1-10.0
Media	8.1-12.0	10.1-15.0
Alta	12.1-24.0	15.1-30.0
Muy alta	>24	>30

Tabla 2. Interpretación del tenor de K en el suelo extraído por el método Mehlich-1, conforme el contenido de K en suelo (Wendling et al., 2008).

Interpretación	K extractable
	----- mg K dm ⁻³ -----
Muy baja	≤25
Baja	26-50
Media	51-75
Alta	76-150
Muy alta	>150

En un estudio económico detallado de las recomendaciones, Cubilla y Ferreira (2010) constataron que las recomendaciones de fertilización propuestas para el Paraguay, han sido económicamente rentables para todos los casos, en tres cultivos consecutivos en cualquiera de los escenarios considerados y para todos los tipos de suelos estudiados, a los precios de fertilizantes en 2010.

Fertilización de corrección

Cuando los tenores de análisis de suelos se ubican por debajo del nivel crítico, categorías "Muy baja", "Baja" y "Media" (Tablas 1 y 2), es posible optar por diferentes alternativas de fertilización de corrección: total o gradual (Tablas 3, 4 y 5) para los cultivos de soja maíz, trigo y/o girasol en secuencias de tres cultivos. Cuando los resultados del análisis indican tenores de P y K "Altos" o "Muy altos", la fertilización de corrección no es indicada. En este caso, se adicionan solamente las cantidades de manutención o lo que la planta irá a exportar, pues el tenor en el suelo es considerado adecuado.

Fertilización de manutención

La fertilización de manutención tiene por objetivo mantener el tenor de P y de K en el suelo por encima del nivel crítico. Para tal caso se reponen los nutrientes exportados por los granos y biomasa de la parte aérea, más las eventuales pérdidas que puedan ocurrir en el sistema. Las pérdidas de manera general son consideradas de 20 a 30%. En el estudio para P se optó en considerar las pérdidas en un 25% (Cubilla et al., 2012).

Fertilización de reposición

La cantidad de P y de K a adicionar al suelo para un determinado cultivo puede ser establecido por la cantidad de estos nutrientes retirados por los granos o por la masa seca. La opción de fertilizar por reposición (exportación) es indicada solamente cuando los tenores de nutrientes en el suelo están en la categoría de fertilidad "Muy alta".

Las dosis de reposición son obtenidas en las informaciones contenidas debajo de cada tabla de recomendación para cada cultivo, indicando la necesidad de cada nutriente por toneladas de granos exportados.

Cuando los tenores de P y K encontrados en el suelo están en la categoría "Muy alta", las fertilizaciones pueden ser flexibles. Se puede adoptar la estrategia de fertilización del sistema, donde la fertilización se realiza en cualquier época o cultivo, pudiendo ser en línea (para dosis menores) o en superficie.

Algunos cultivos, como la soja, se podrán beneficiar con la fertilización potásica (aún con suelo en la categoría "Muy alta"), principalmente en el arranque inicial de las plantas cuando es realizada en línea.

Tabla 3. Recomendación de fertilización fosfatada correctiva gradual y total para la Clase I de suelo bajo el SSD para Paraguay (Cubilla et al., 2012).

Categoría	Recomendación para tres cultivos en sucesión			Total
	1 ^{er} cultivo	2 ^{do} cultivo	3 ^{er} cultivo	
----- kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ -----				
Muy baja	80 + M	70 + M	50 + M	200 + 3M
Baja	35 + M	35 + M	30 + M	100 + 3M
Media	25 + M	M	M	25 + 3M
Alta	M	M	M	3M
Muy alta	R	R	R	3R

*M = mantención (tasa de exportación de cultivos + pérdidas).
R = reposición (exportación de cultivos). Trigo = 10 kg de P₂O₅, soja = 12 kg de P₂O₅, maíz = 8 kg de P₂O₅ y girasol = 15 kg de P₂O₅ por tonelada de granos producidos.*

Tabla 4. Recomendación de fertilización fosfatada correctiva gradual y total para la Clase II de suelo bajo el SSD para Paraguay (Cubilla et al., 2012).

Categoría	Recomendación para tres cultivos en sucesión			Total
	1 ^{er} cultivo	2 ^{do} cultivo	3 ^{er} cultivo	
----- kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ -----				
Muy baja	60 + M	50 + M	40 + M	150 + 3M
Baja	25 + M	25 + M	25 + M	75 + 3M
Media	15 + M	M	M	15 + 3M
Alta	M	M	M	3M
Muy alta	R	R	R	3R

*M = mantención (tasa de exportación de cultivos + pérdidas).
R = reposición (exportación de cultivos). Trigo = 10 kg de P₂O₅, soja = 12 kg de P₂O₅, maíz = 8 kg de P₂O₅ y girasol = 15 kg de P₂O₅ por tonelada de granos producidos.*

Tabla 5. Recomendación de fertilización potásica correctiva gradual y total en el SSD para Paraguay (Wendling et al., 2008).

Categoría	Recomendación para tres cultivos en sucesión			Total
	1 ^{er} cultivo	2 ^{do} cultivo	3 ^{er} cultivo	
----- kg ha ⁻¹ de K ₂ O -----				
Muy baja	150	100	60	310
Baja	90	60	40	190
Media	60	M	M	60 + 2M
Alta	M	M	M	3M
Muy alta	R	R	R	3R

*M = mantención (tasa de exportación de los cultivos + pérdidas)
R = reposición (exportación de los cultivos) Trigo y Maíz = 6 kg de K₂O por tonelada de granos, Soja = 20 kg de K₂O y Girasol = 12 kg de K₂O por tonelada de granos exportados.*

Recomendación de fertilización correctiva y gradual para P y K

La filosofía de la recomendación de fertilización fosfatada y potásica, tiene por objetivo, elevar el tenor de los nutrientes en el suelo (fertilización correctiva), cuando están por debajo del nivel crítico, a niveles considerados adecuados (categoría "Alta") para que los cultivos expresen su potencial de rendimiento, y a partir de ahí, solo realizar

las fertilizaciones de mantención y reposición (Tablas 3, 4 y 5).

La fertilización correctiva gradual es la más indicada principalmente cuando no hay disponibilidad de recursos financieros para inversión (Comissão de Química e Fertilidade de solo RS/SC, 2004). Este procedimiento está siendo utilizado en la construcción de tablas de recomendaciones, donde las dosis de corrección son aplicadas en la proporción de un tercio en el primer cultivo, otro tercio en el segundo cultivo, y el último tercio en el último cultivo. Esta recomendación es válida para suelos cuyos tenores de P y K fueren interpretados como "Muy baja" y "Baja".

Ejemplo: para programar un plan de fertilización para 3 cultivos en sucesión (se aplica un tercio en los abonos verdes o trigo en el año 2014; un tercio en la soja o maíz zafra en el año 2014/15; y el último tercio en el trigo, abonos verdes o maíz zafriña en el año 2015). De esta forma, lograremos corregir el suelo, nutrir la planta y llegar a un nivel del límite superior de la categoría "Media" de P y K al tercer cultivo. En la siguiente siembra solo necesitaríamos nutrir el cultivo, y agregar un poco más para así lograr la categoría "Alta" de la fertilidad del suelo.

El punto clave a llevar en consideración en el plan de fertilización de P, es el aumento de este nutriente a un nivel de suficiencia (categoría "Alta") de fertilidad, para los cultivos y así evitar problemas futuros de nutrición de los mismos.

Siguiendo el ejemplo de P, la filosofía para lograr el aumento del K a un nivel de suficiencia categoría "Alta", es la aplicación en 3 cultivos para alcanzar el nivel deseado. Después de tres cultivos en sucesión, es indispensable realizar otro análisis de suelo para

identificar si el objetivo fue alcanzado, tanto para el P como para el K.

Micronutrientes

En general, los resultados de los trabajos de investigación con micronutrientes realizados en Río Grande del Sur y en otros estados del sur del Brasil, muestran la ausencia

de respuesta a la aplicación de micronutrientes en la mayoría de las situaciones de suelos y cultivos (Borkert, 2002). Este autor justifica que este hecho es debido, en grande parte, a la capacidad adecuada de provisión por los suelos, en función de su origen. Actualmente, no se cuenta con información de respuesta de micronutrientes en la región oriental de Paraguay, futuras investigaciones deberán evaluar eventuales deficiencias y respuestas.

Consideraciones finales

Para la fertilización de cultivos bajo el SSD continuo de varios años y nivel medio a alto de fertilidad, se sugiere adoptar las recomendaciones provenientes de los resultados de análisis de suelos combinados con los de extracción de nutrientes en la producción de granos y los rendimientos obtenidos en los años anteriores; pero por sobre todo, en base a las recomendaciones de investigaciones locales.

Un elevado nivel de control de las áreas cultivadas deberá ser realizado por el administrador de campo o extensionista, registrando los análisis de suelos, las fertilizaciones realizadas y rendimientos obtenidos en cada área, cultivo tras cultivo. La gerencia adecuada de la propiedad tiene un papel fundamental en la toma de decisión para la fertilización.

Otro aspecto importante es la aplicación de nutrientes de acuerdo con la necesidad de cada especie cultivada. La aplicación de nutrientes debe obedecer al equilibrio, a la necesidad de las plantas y a las variaciones de nutrientes de cada área en los campos cultivados.

Los avances de la genética y variedades de soja con alto potencial de rendimiento, requieren de una continua y constante evaluación de las prácticas de manejo de suelos, de los nutrientes disponibles y de la fertilización.

Una adecuada nutrición de cultivos y mantenimiento de niveles adecuados a óptimos de la fertilidad del suelo, son claves para obtener rendimientos acordes con materiales genéticos de uso actual.

Bibliografía

Amado, T.C., y C.N. Costa. 2004. Solos sob sistema plantio direto podem atuar como importante tampão ambiental. Direto no Cerrado, Brasília, pp. 16-17, 01 agosto 2004.

Anghinoni, I., y C. Bayer. 2004. Manejo da Fertilidade do Solo. In: C. A. Bissani; C. Gianello; M. J. Tedesco; F. A. de Oliveira Camargo. (Org.). Fertilidade de Solo e Manejo da Adubação de Culturas. 1 ed. Porto Alegre: Gênese, 2004, 1:251-263.

Borkert, C.M. 2002. Ganhos em produtividade de culturas anuais com micronutrientes na Região Sul. In: Curso de fertilidade do solo em plantio direto, V. Guarapuava, PR. 2002. Resumos de palestras. Passo Fundo, Aldeia Norte, 2002. pp. 81-96.

Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. 2004. Manual de recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2004. 394 p.

Cubilla, M.A., A. Wendling, F.L.F. Eltz, T.J.C. Amado, y J. Mielniczuk. 2012. Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girasol bajo el sistema de siembra directa en el Paraguay. Asunción, Paraguay: CAPECO, 2012. 88 p.

Cubilla, M.M., y M. Ferreira. 2010. Recomendaciones de fertilización y análisis económico para el cultivo de trigo en Paraguay. In: Tercer Seminario Nacional de Trigo. Del grano al Pan. Eds. M.M. Kohli, L.E. Cubilla y G. Cabrera. 2010. CAPECO-INBIO, Asunción, Paraguay. pp. 89-100.

Derpsch, R., N. Sidiras, y C.H. Roth. 1986. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. Soil and Tillage Res. 8:253-263.

Derpsch, R., y J. Benites. 2004. Agricultura conservacionista no mundo. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 15., Santa Maria, 2004. Anais. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. - CD ROM.

Eltz, F.L.F., S.S. Grimm, y D.A. Fole. 1975. Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a produtividade da soja, em oxissolo da unidade de mapeamento Santo Ângelo. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, 11(1):37-44.

Eltz, F.L.F., R.T.G. Peixoto, y F. Jaster. 1989. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. R. Bras. Ci. Solo 13:259-267.

Gassen, D., F. Haas, y F. Gassen. 2003. Informativos Técnicos Cooplantio. Volumen II. Passo Fundo, RS: Aldeia Norte Editora. 125 p.

Nolla, A., y I. Anghinoni. 2003. Atividade e especiação iônica da solução do solo afetadas por acidez e fósforo no sistema plantio direto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Resumos Expandidos. Ribeirão Preto: SBCS/UNESP, 2003. 4 p.

Sherer, E.E. 1998. Doses e modos de aplicação de adubos fosfatado e potássico na cultura da soja. Revista Agropecuária Catrinense, 11(2):57-61.

Sidiras, N., y M.A. Pavan. 1986. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. R. Bras. Ci. Solo, 9:249-254.

Wendling, A., F.L.F. Eltz, M.M. Cubilla, T.J.C. Amado, y J. Mielniczuk. 2008. Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. R. Bras. Ci. Solo, 32:1929-1939. ❖