

MANEJO DEL SUELO PARA LA OBTENCIÓN DE ALTOS RENDIMIENTOS EN SOJA EN EL SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA EN PARAGUAY Y EN EL SUR DEL BRASIL

Telmo J.C. Amado¹; Martín M. Cubilla²; Jairo A. Schleindwein³; Antônio L. Santi⁴ & Luís Enrique Cubilla Ramos.⁵

Resumen

El manejo del suelo con el objetivo de obtención de elevados rendimientos debe proporcionar características químicas, físicas y biológicas favorables al desenvolvimiento vegetal. La capacidad productiva de los suelos agrícolas está directamente relacionada con la recuperación del stock de materia orgánica y la mantención/incremento de la fertilidad del suelo. En el Sur del Brasil y en el Paraguay, la soja por las mejoras introducidas en el manejo del cultivo y principalmente por ser cultivada en siembra directa (SD), viene presentando, en los municipios productores más tradicionales, expresivos aumentos de rendimiento en las últimas dos décadas. En este trabajo se da énfasis a los recientes experimentos de calibración de nutrientes conducidos sobre este sistema. En la SD, los tenores críticos de P y K fueron superiores a los anteriores propuestos para el sistema convencional debido probablemente a la concentración superficial de nutrientes y también a la toma de muestras de suelo de 0 a 10 cm. La respuesta de rendimiento de la soja al fósforo aplicado fue, generalmente, superior a la del potasio, macro nutrientes secundarios y al encalado. La fijación biológica debe ser la principal estrategia de aporte de nitrógeno a la soja, requiriendo cuidados especiales en cuanto a su eficiencia. La elevada variabilidad horizontal y vertical de nutrientes en SD requiere muestreos más intensivos del suelo. En el sistema de SD establecido, con tenores elevados de nutrientes, existe mayor flexibilidad en el manejo de la fertilidad. Por lo tanto, en este caso se debe evitar posibles desequilibrios entre nutrientes. El mantenimiento de elevados rendimientos de soja requiere por lo menos, la reposición cuantitativa de los nutrientes exportados en la cosecha. La inestabilidad climática del Sur del Brasil y Paraguay hace que la infiltración, el almacenamiento de agua en el suelo y el desenvolvimiento radicular deban merecer atención especial evitando que la compactación del suelo comprometa las mejoras en la fertilidad del suelo y el rendimiento de la soja.

Palabras Claves: Materia orgánica, fósforo, potasio, tenores críticos.

Introducción

La obtención de elevados rendimientos es el resultado de una compleja interacción de factores de clima, planta y suelo. Una de las críticas frecuentes que es hecha en cuanto al manejo del suelo en las últimas décadas, es el énfasis a los atributos químicos del suelo que determinan la fertilidad, relegando a un segundo plano los atributos físicos y biológicos del suelo, también importantes para la obtención de elevados rendimientos. La expansión de la SD a partir de la década de los 90, ha proporcionado el control de la erosión y la recuperación gradual del stock de materia orgánica del suelo (MOS). A medida que ocurre la recuperación del tenor de la MOS, se verifica un gradual incremento de la capacidad productiva del suelo. Este hecho está asociado a la mejora de la fertilidad, con sustancial aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), y de la mejora de la estructura del suelo, por el incremento de la agregación, con un efecto positivo en la infiltración y almacenamiento de agua. La actividad biológica también es favorecida por la recuperación del tenor de la MOS incrementando el ciclaje de nutrientes. Prácticas de manejo como la mínima perturbación, elevada adición de residuos vegetales, permanente cobertura y elevada tasa de fotosíntesis favorecen a la mejoría de la calidad del suelo. La expansión de la SD en el cultivo de la soja, que alcanza aproximadamente 80% del área cultivada en Río Grande del Sur (RS) y en las áreas mecanizadas del Paraguay, ha posibilitado la gradual mejoría de la calidad del suelo, que aliada al perfeccionamiento de las prácticas de manejo, han proporcionado un incremento de la productividad del cultivo.

¹ Profesor Dr., Bolsista del CNPq. Depart. de Suelos, UFSM, Santa Maria-RS Cep. 97119-900 E-mail: tamado@smail.ufsm.br

² M.Sc. Biodinámica y Manejo del Suelo, UFSM. E-mail: martincubilla@hotmail.com.br

³ Doctor en Fertilidad del Suelo, Consultor agrónomo. E-mail: jairojas@terra.com.br

⁴ Doctorando PPGCS, UFSM, E-mail: santial@baseap.com.br

⁵ Consultor Técnico. CAPECO, Paraguay. E-mail: lecubilla@capeco.org.py

El sistema de SD provocó profundos cambios en los atributos químicos del suelo y en la dinámica de nutrientes, exigiendo la utilización de nuevos procedimientos de manejo en relación a aquellos adoptados anteriormente en el sistema convencional de cultivo.

Dinámica de la Materia Orgánica del Suelo

La SD se ha mostrado eficiente en promover el incremento del stock de la MOS en suelos agrícolas. Este resultado está relacionado a la reducción en la tasa de oxidación biológica debido a la combinación de los siguientes factores: reducción de la temperatura del suelo, menor oxigenación y menor perturbación del suelo, preservación e incremento de la agregación, que ha sido considerada como uno de los principales mecanismos de protección del carbono adicionado al suelo. Además de los mecanismos de protección y estabilización de la MOS, se debe destacar la importancia de la adición de elevada y diversificada cantidad de residuos vegetales, a través de un programa de rotación de cultivos. La soja presenta un limitado aporte cuantitativo de residuos culturales al suelo. A pesar de esto, posee relación C/N baja, hecho que favorece la rápida descomposición. Así, esta leguminosa cuando es utilizada en monocultivo o con gran frecuencia en el programa de rotación de cultivos, puede promover inclusive la disminución del stock de la MOS, aun en SD (Havlin et al., 1990; Garcia, 2003). Este efecto puede, por lo tanto, ser contrabalanceado por la utilización de cultivos de invierno, como avena negra, raigras anual, centeno y trigo, y por la rotación de cultivos de verano, como maíz o sorgo. Campos (2006), en un experimento de larga duración conducido en Cruz Alta (RS), observó que los mayores incrementos de MOS fueron obtenidos en SD con soja insertada en un programa de rotación de cultivos (Figura 1a). Pontelli (2006), utilizando las herramientas de la agricultura de precisión en SD, encontró que la MOS, en la profundidad de 0 a 10 cm, fue el atributo del suelo que mejor se correlacionó con el rendimiento de soja (r^2 variando de 0,32 a 0,48). El autor estableció de forma preliminar la relación entre el tenor de la MOS y el rendimiento de soja con base en rendimientos obtenidos en años normales de precipitación (2002 y 2003) en un Latossolo Vermelho distrófico típico (Figura 1b). El tenor crítico (90% del rendimiento relativo (RR)) fue de 3,2% y el tenor de 4,1 % corresponde a la máxima eficiencia técnica (MET) (100% do RR). Los valores presentados sirven como una referencia, pues necesitan ser confirmados por una mayor base de datos.

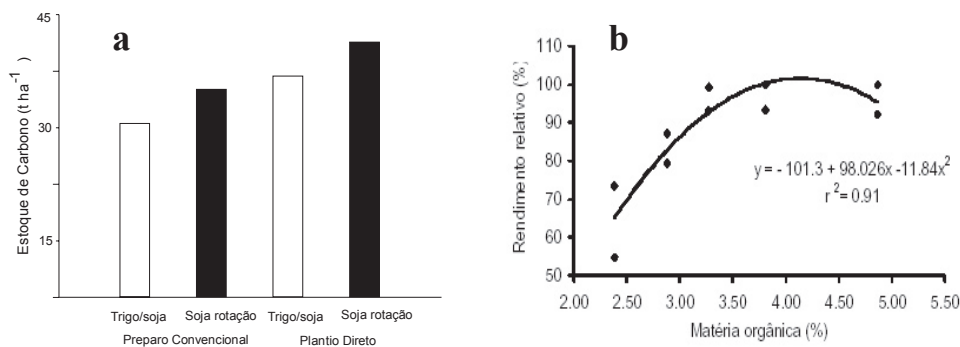


Figura 1. a) Stock de carbono en el suelo, a la profundidad de 0-10 cm, en sistemas de cultivo. Fuente: Campos (2006). b) Relación entre el tenor de MOS, a la profundidad de 0-10 cm, y el rendimiento de soja. Fuente: Pontelli (2006).

Dinámica del fósforo

A pesar que entre los tres macronutrientes primarios el fósforo (P) sea el menos extraído por la soja, normalmente este es el que presenta mayor limitación para la obtención de elevados rendimientos, sea por el bajo tenor en el suelo, sea por su compleja dinámica. Según un levantamiento realizado en 2001, 79% de los muestreos de suelos analizados por los laboratorios de RS poseían tenores de P abajo del suficiente, mientras que en Paraguay en un trabajo de levantamiento de fertilidad realizado desde 1980 hasta 2002, se constató que más del 80% de los análisis de suelos se encuadraron en niveles bajos o de insuficiencia de P para las plantas (Fatecha, 2004). La exportación por los granos es equivalente a 14 kg de P₂O₅- 6.1 kg P por tonelada de granos. El P es el

macronutriente con menor movilidad en el perfil del suelo. En SD el P puede ser movilizado en el perfil a través del transporte por insectos, lombrices y por la erosión vertical en las ranuras del suelo y las galerías de origen biológico. Por lo tanto, normalmente el P permanece muy próximo del lugar donde es depositado el fertilizante, una vez que es poco transportado en el perfil por el flujo de agua. Entre los nutrientes, el P presenta la mayor variabilidad en la concentración tanto vertical cuanto horizontal en el perfil del suelo. La variabilidad horizontal es resultado de fertilizaciones en línea en el surco de la siembra. Una variabilidad de aproximadamente 85%, en el tenor de P, fue encontrada cuando se comparó el muestreo de suelo en la línea y en la entrelínea de siembra. Esta elevada variabilidad demanda un mayor número de muestras de suelo para que la disponibilidad del nutriente sea correctamente evaluada. En SD con rotación, la siembra de sucesivos cultivos con diferentes espaciamientos, que muchas veces poseen línea de siembra no coincidente, inducen a la variabilidad horizontal, que es mayor en la fase inicial y disminuye con el tiempo de adopción del sistema. Cuando los tenores de P en el suelo se encuentran de medios a elevados, la fertilización al voleo ha presentado eficiencia semejante a la fertilización en línea. La variabilidad vertical del P, en SD, puede ser todavía mayor que la horizontal. Así, la variabilidad vertical del P está relacionada a la fertilización superficial o sub-superficial, la deposición superficial de los residuos de los cultivos y la baja movilidad de este nutriente en el perfil. La variabilidad vertical es agravada con el tiempo de adopción de SD. Varios autores constataron que la mayor concentración de P en SD ocurre principalmente en los primeros 5 cm, o como máximo hasta 10 cm, cuando fueron utilizadas sembradoras con abresurco (cuchilla). La concentración superficial de P, en caso de déficit hídrico frecuente, puede resultar en menor aprovechamiento por las plantas. Este hecho enfatiza la importancia del mantenimiento de una adecuada cantidad de residuos sobre la superficie del suelo, buscando conservar la humedad del mismo y, consecuentemente, favorecer la absorción de P. El stock de P orgánico aumenta con el tenor de MOS y con el tiempo de adopción del sistema de SD (Sá, 1993).

La mayoría de los experimentos de calibración fueron conducidos en sistemas convencionales de cultivo y con un intervalo de tiempo en el cual hubo cambios en el potencial productivo de las variedades de soja utilizadas y perfeccionamiento en las prácticas de manejo (Schlindwein, 2003). Los recientes y pocos experimentos de calibración en SD han indicado que los tenores críticos de P pueden ser superiores a los anteriormente propuestos en sistema de preparo convencional. Cubilla (2005) encontró, para suelos del Paraguay con clase textural de arcilla, de 210 a 400 g kg⁻¹, el tenor crítico de 15 mg dm⁻³ y para la clase de arcilla, de 410 a 600 g kg⁻¹, el tenor crítico de 12 mg dm⁻³ de P determinado por el método Mehlich 1 y a la profundidad de 0-10 cm (Figura 2).

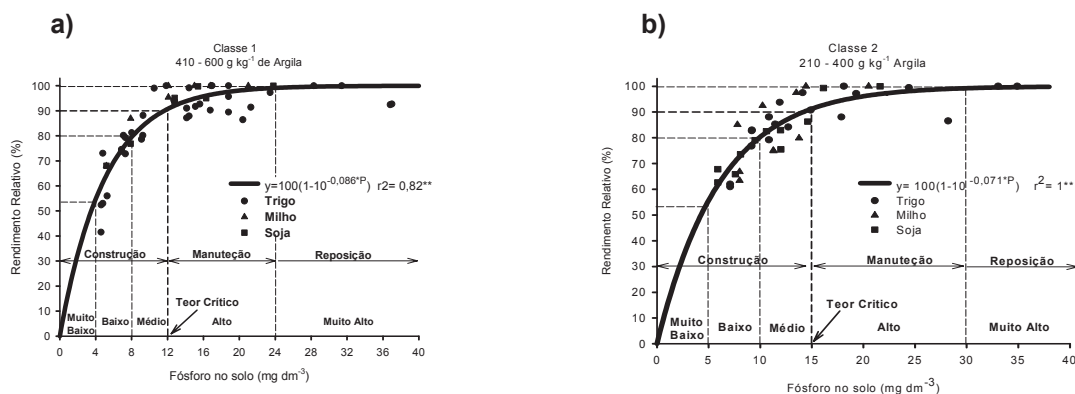


Figura 2. Rendimiento relativo de trigo, maíz y soja cultivados en SD con tenores de P determinado por el método Mehlich-1, a la profundidad de 0-10 cm. ** significativo $P < 0,01$. (Paraguay). Fuente: Cubilla (2005).

Por otro lado, Schlindwein (2003), investigando experimentos en SD en el estado de RS, encontró tenores críticos de P mayores que los anteriores, estimando en 30, 21 y 12 mg dm⁻³, respectivamente, para las clases texturales de arcilla de 110-400, 410-550 y >550 g kg⁻¹, determinados por el mismo método anterior y a la profundidad de 0-10 cm.

Dinámica del Potasio

El potasio (K) es un macronutriente demandado en cantidades elevadas por la soja. El K presenta movilidad en el suelo, pudiendo ser redistribuido en el perfil, por el flujo de agua (movilidad vertical) y por absorción y reciclaje por las plantas (movilidad horizontal). Así, la variabilidad vertical y horizontal de los tenores de K, normalmente, es menor que la de P.

La continua deposición de residuos en la superficie del suelo en SD, aliado a las reducciones de pérdidas por erosión y lixiviación, inducen a una mayor concentración de K próximo a la superficie del suelo. La exportación de K en los granos cuantificada en la forma de K_2O es mucho mayor en la soja (20 kg t^{-1} - 16.7 kg K t^{-1}) que en otros cultivos, como el trigo y el maíz (6 kg t^{-1} - 5 kg K t^{-1}). Así, para obtener altos rendimientos y mantener la fertilidad del suelo, en sistemas de cultivo con predominio de soja, se debe realizar una adecuada fertilización de K, ya que este nutriente es requerido y exportado en grandes cantidades por este cultivo. Schlindwein (2003) realizó un trabajo de calibración de los tenores de K en el suelo en SD con 17 diferentes experimentos cultivados con soja, trigo y maíz en RS y encontró un nivel crítico de 120 mg kg^{-1} de K, a la profundidad de 0-20 cm.

Sin embargo, el tenor crítico fue un 50% superior, cuando el análisis sólo considero la profundidad de 0-10 cm (Figura 3). Por otro lado, Wendling (2005), en un estudio de calibración en el Paraguay, reportó un tenor crítico de K (Mehlich 1) de 74 mg dm^{-3} , en cuanto la MET fue obtenida con el tenor de 150 mg dm^{-3} , a la profundidad de 0 a 10 cm.

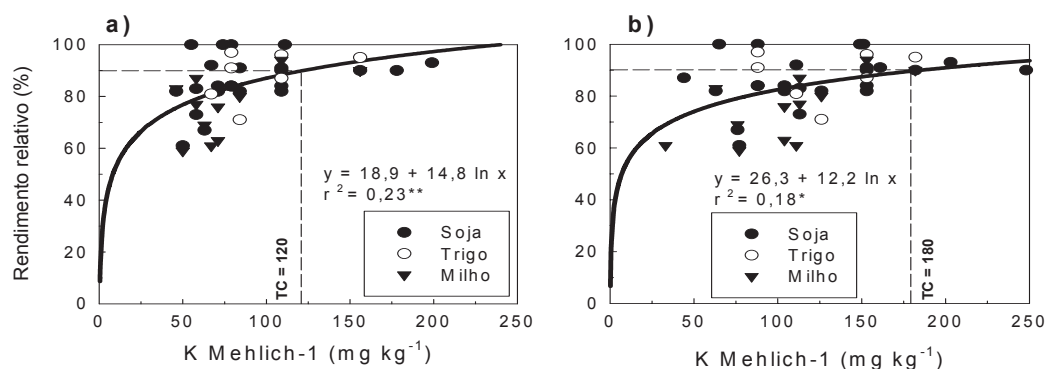


Figura 3. Rendimiento relativo de soja, trigo y maíz en sistema de SD, en función del tenor de K Mehlich-1, a la profundidad de a) 0-20 cm, b) 0-10 cm. ** Significativo ($P < 0,01$), * Significativo ($P < 0,05$). Fuente: Schlindwein (2003).

Consideraciones Finales

La obtención de elevados rendimientos de soja es una necesidad en función de los altos costos de producción y la creciente competitividad a la que todos los productores están sometidos, en consecuencia del proceso de globalización. Entre tanto, la obtención y, más importante, la manutención de elevados rendimientos es el resultado de una compleja interacción de factores de clima, planta y suelo. La recuperación del stock de MOS ha sido frecuentemente relacionada con el incremento de la capacidad productiva de los suelos agrícolas. En SD, la rotación de cultivos y el uso de plantas de cobertura son esenciales para alcanzar elevados rendimientos de soja. Los tenores de nutrientes en el suelo, buscando elevados rendimientos, deben estar en la faja entre la máxima eficiencia económica y la máxima eficiencia técnica. Entre tanto, estos parámetros, en los experimentos de calibración de la fertilidad en SD, han sido variables de acuerdo con el tipo de suelo y manejo del cultivo. Considerando los efectos de concentración de nutrientes y el muestreo superficial, los tenores críticos de P y K en el suelo, deben ser superiores a los propuestos en sistema convencional. La mayor variabilidad horizontal y vertical de nutrientes en SD demanda una mayor intensidad en el muestreo de suelo. El mantenimiento de elevados rendimientos del cultivo de soja requiere, por lo menos de la reposición cuantitativa de los nutrientes exportados en la cosecha, algo que no siempre es observado como una práctica usual realizada por los agricultores.

BIBLIOGRAFIA

- CAMPOS, B.C. 2006. **Dinâmica do carbono em sistemas de preparo e de culturas em Latossolo Vermelho distrófico típico**. 2006. 165f. Tese (Doutorado) - PPGCS, Univ. Fed. de Santa Maria, Santa Maria,...
- CUBILLA ANDRADA, M.M. 2005. **Calibración visando recomendações de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2005.160f. Dissertação (Mestrado) - PPGCS, Univ. Fed. de Santa Maria, Santa Maria,...

- FATECHA, D.A. 2004. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Tesis como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. San Lorenzo, Paraguay.,.
- GARCIA, F.O. 2003. Agricultura sustentable y materia orgánica del suelo: siembra directa, rotaciones y fertilidad. In: CONGRESSO NACIONAL DE LA CIENCIA DEL SUELO, 3, 2003. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: INPOFOS, (CD ROM).
- HAVLIN, J.L.; KISSEL, D.; MADDUX, L.; CLAASSEN, M.; LONG, J. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.54, p.448-452.,
- PONTELLI, C.B. 2006. **Caracterización da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão**. 117f. Dissertação (Mestrado) - PPGEA, Univ. Fed. de Santa Maria, Santa Maria.
- SÁ, J. C. M. 1993. **Manejo da fertilidad do solo no plantio direto**. Castro: Fundación ABC, 96 p.
- SCHLINDWEIN, J.A. 2003. **Calibración de métodos de determinación de fósforo e potássio do solo sob sistema plantio direto**. 2003. 169f. Tese (Doutorado) - PPGCS, Univ. Fed. Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- WENDLING, A. 2005. **Recomendación de nitrogenio e potassio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2005. 160f. Dissertação (Mestrado) – PPGCS, Univ. Fed. de Santa Maria, Santa Maria.